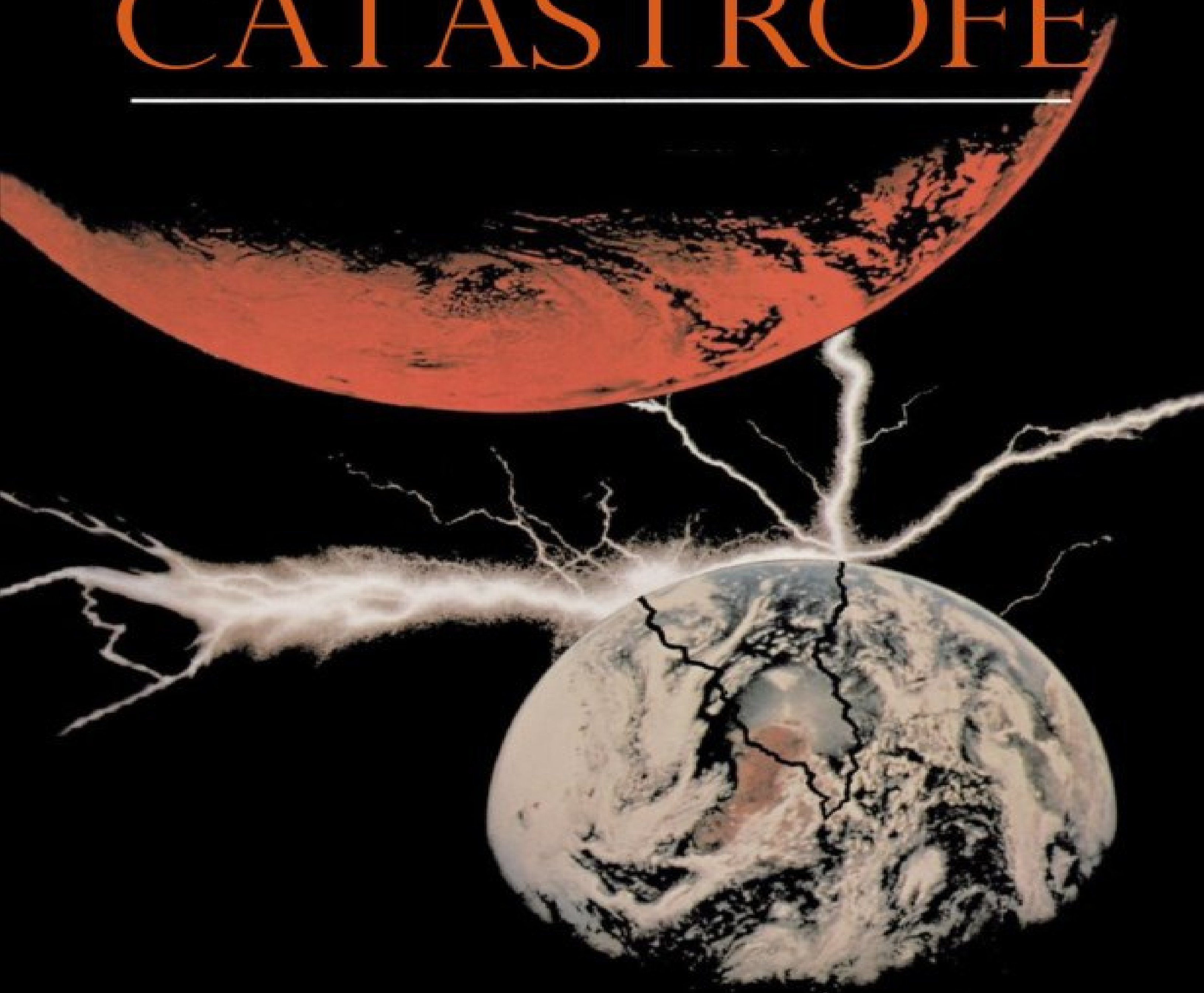
ISAAC ASIMOV

ESCOLHA A CATÁSTROFE



Isaac Asimov

ESCOLHA A CATÁSTROFE

Título do original: “A choice of catastrophes”
Tradução: Amarilis Eugênia Miazzi Pereira Lima Capa: Irineu Schwab

*A Robyn e Bill, possam ele***s** *encontrar a face da Fortuna sempre lhes sorrindo*

INTRODUÇÃO

A palavra “catástrofe” vem do grego e significa “inverter”, “virar de cabeça para baixo”. Era originalmente usada para descrever o desfecho ou clímax final de uma representação dramática, que poderia, naturalmente, ser tanto feliz como triste.

Numa comédia, o clímax é um desfecho feliz. Após uma torrente de incompreensões e mágoas, tudo se modifica quando os amantes repentinamente se reconciliam e se reúnem.

A catástrofe da comédia é pois um abraço ou um casamento.

Numa tragédia, o clímax é um desfecho triste. Após intermináveis esforços, tudo se inverte quando o herói descobre que o destino e a situação o venceram. A catástrofe da tragédia é, então, a morte do herói.

Já que as tragédias costumam impressionar mais profundamente e ser mais celebrizadas que as comédias, a palavra “catástrofe” acabou sendo associada mais aos finais trágicos do que aos felizes. Conseqüentemente, ela é agora usada para pintar qualquer final de natureza calamitosa - e tal tipo de catástrofe é o tema deste livro.

Um final de quê? De nós mesmos, é claro; da espécie humana. Se considerarmos a história humana como um drama trágico, então o fim da humanidade será uma catástrofe tanto no sentido original como no atual. Mas o que poderia provocar o fim da história humana?

Em primeiro lugar, o universo como um todo poderia sofrer uma mudança em suas características de forma a se tornar inabitável. Se o universo se tornasse letal e se nenhum tipo de vida pudesse aqui existir, então a humanidade também não poderia existir; isso seria algo que poderíamos denominar “catástrofe do primeiro grau”.

Naturalmente, não é necessário que o universo inteiro seja envolvido em algo que, por si só, provoque o fim da humanidade. O universo poderia ser tão benigno quanto o é agora e, mesmo assim, algo poderia acontecer ao Sol de modo a tornar inabitável o sistema solar. Nesse caso, a vida humana poderia extinguir-se apesar de todo o resto do universo prosseguir pacificamente em seu curso normal. Isso seria uma “catástrofe do segundo grau”.

Certamente, embora o Sol pudesse continuar a brilhar, regular e benevolentemente, a Terra poderia sofrer um tipo de convulsão que impossibilitasse a vida nela. Nesse caso, a vida humana poderia extinguir-se mesmo que o sistema solar continuasse com suas rotações e translações rotineiras. Isso seria uma “catástrofe do terceiro grau”.

E mesmo que a Terra permanecesse quente e agradável, algo poderia acontecer nela que causasse a destruição da vida humana, ao mesmo tempo em que pelo menos algumas outras formas de vida fossem poupadas. Nesse caso, a evolução poderia continuar, e a Terra, com uma parcela de vida modificada, poderia florescer — mas sem nós. Isso seria uma “catástrofe do quarto grau”.

Podemos até ir um passo além e apontar a possibilidade de a vida humana continuar, mas ocorrer alguma coisa de forma a destruir a civilização, interromper a marcha do avanço tecnológico e condenar a humanidade a uma vida primitiva — solitária, empobrecida, má,

embrutecida e curta — por tempo indefinido. Isso seria uma “catástrofe do quinto grau”.

Neste livro, examinarei todas essas formas de catástrofes, começando pelas do primeiro grau e prosseguindo na seqüência. As catástrofes descritas serão, sucessivamente, menos cósmicas — e sucessivamente mais iminentes e perigosas.

É inútil julgar o quadro assim apresentado como ameaçador, uma vez que é muito possível que não haja catástrofes inevitáveis. E, certamente, a possibilidade de evitá-las aumenta quando nos propomos a encará-las e estimar sua periculosidade.

Parte I

CATÁSTROFES DO PRIMEIRO GRAU

1 — O DIA DO JUÍZO FINAL

RAGNAROK

A convicção de que o universo todo caminha para um fim (a catástrofe do primeiro grau mencionada na introdução) é antiga e constitui, de fato, parte importante da tradição ocidental. Um quadro particularmente dramático do fim do mundo é-nos revelado pelos mitos propalados entre os povos escandinavos.

A mitologia escandinava é um reflexo do rude ambiente subpolar em que os audazes nórdicos viviam. É um mundo em que homens e mulheres desempenham papéis secundários e no qual o drama se desenrola num conflito entre deuses e gigantes, conflito esse em que os deuses aparecem em franca desvantagem.

Os "gigantes de gelo" (os longos e cruéis invernos escandinavos) são invencíveis; afinal de contas, e até dentro da sitiada fortaleza dos próprios deuses, Loki (o deus do fogo, tão essencial num clima nórdico) é tão cheio de truques e traiçoeiro quanto o próprio fogo. No final aparece *Ragnarok,* que significa "o destino fatal dos deuses". (Richard Wagner tornou esse termo mais conhecido como *Gótterdàmmerung,* ou "crepúsculo dos deuses", em sua ópera assim denominada.)

Ragnarok é a batalha final decisiva entre os deuses e seus inimigos.

Seguindo os deuses, vêm os heróis do Valhalla que, na Terra, tinham morrido em combate. Seus oponentes são os gigantes e monstros de natureza cruel, liderados pelo renegado Loki. Um por um os deuses caem, embora os monstros e gigantes — inclusive Loki — também morram. Na luta, a Terra e o universo perecem. O Sol e a Lua são engolidos pelos lobos que os perseguiam desde a criação. A Terra pega fogo, arde e se fragmenta, num holocausto universal. Quase como um detalhe insignificante da grande batalha, a vida e a humanidade são extintas.

E esse, dramaticamente, deveria ser o fim — mas não é.

De algum modo, uma segunda geração de deuses sobrevive; outro Sol e outra Lua passam a existir; uma nova Terra surge; um novo par de seres humanos vem à existência. Um anticlímax feliz se opõe à grande tragédia de destruição. Como isso pôde acontecer?

A lenda de Ragnarok, como a conhecemos hoje, é tomada dos escritos de um historiador islandês, Snorri Sturluson (1179-1241). Naquela época, a Islândia já tinha sido cristianizada e a lenda do fim dos deuses parece ter sofrido influência cristã. Havia, afinal de contas, lendas cristãs sobre a morte e regeneração do universo que havia muito precediam a lenda islandesa de Ragnarok; por sua vez, as lendas cristãs eram influenciadas pelas dos judeus.

EXPECTATIVAS MESSIÂNICAS

Enquanto o reino davídico de Judá existiu, antes de 586 a.C, os judeus estavam convictos de que Deus era o divino juiz que atribuía recompensas e punições aos indivíduos de acordo com seus méritos. As recompensas e punições eram aplicadas nesta vida. Essa certeza foi anulada.

Após o reino de Judá ter sido destruído pelos caldeus sob Nabucodonosor, seu templo arrasado e muitos dos judeus levados para o exílio na Babilônia, começou a crescer, entre os exilados, o anseio pela volta do reino e de um rei da velha dinastia de Davi. Na medida em que tais desejos, expressos abertamente, representavam traição para com os novos dirigentes não-judeus, surgiu o hábito de apenas fazer-se alusões à volta do rei. Uns falavam do "Messias", ou seja, "o ungido", já que o rei era ungido com óleo como parte do ritual de entronização.

A imagem do rei que retornava era idealizada como algo que prenunciava uma maravilhosa idade de ouro, e, realmente, as recompensas da virtude eram removidas do presente (onde manifestamente não estavam ocorrendo) e transferidas para um futuro dourado.

Alguns versos descrevendo a idade de ouro foram incluídos no Livro de Isaías, que propagou as palavras de um profeta já atuante em 740 a.C. Os versos propriamente ditos devem provavelmente datar de um período posterior. Sem dúvida, para introduzir essa idade de ouro, os justos dentre a população deveriam ser elevados ao poder e os maus, destituídos do poder ou até mesmo destruídos. Assim:

"E ele (Deus) julgará as nações e convencerá de erro a muitos povos; e elas (as nações) de suas espadas forjarão relhas de arados, e de suas lanças, foices; uma nação não levantará a espada contra outra nação, nem daí por diante se adestrarão mais para a guerra" (Isaías 2: 4)[1].

"... mas julgará os pobres com justiça, e tomará com eqüidade a defesa dos humildes da terra, e ferirá a terra com a vara da sua boca, e matará o ímpio com o sopro dos seus lábios" (Isaías 11: 4).

O tempo passou e os judeus retornaram do exílio, mas isso não trouxe alívio. Havia hostilidade de seus vizinhos não-judeus mais próximos e eles se sentiam indefesos em face do poder avassalador dos persas, então dominadores do país. Os profetas judeus tornaram-se mais incisivos, portanto, em seus escritos sobre a idade de ouro vindoura e, particularmente, sobre a condenação que aguardava seus inimigos.

O profeta Joel, escrevendo por volta de 400 a.C, disse: "Ai, aí, ai! que dia (terrível)! porque o Senhor está perto e virá como assolação da parte do Todo-Poderoso" (Joel 1: 15). É o quadro da aproximação de um tempo específico quando Deus julgará o mundo inteiro: "Juntarei todas as gentes e conduzi-las-ei ao vale de Josafá, e ali entrarei com elas em juízo acerca de Israel, meu povo e minha herança. . ." (Joel 3: 2). Esta foi a primeira expressão literária de um "dia do Juízo Final", ocasião em que Deus poria fim à presente situação do mundo.

Tal noção se tornou mais forte e extremada no século II a.C, quando os selêucidas, dirigentes

gregos que haviam sucedido à dominação persa depois de Alexandre Magno, tentaram suprimir o judaísmo. Os judeus, sob os macabeus, se rebelaram, e o Livro de Daniel foi escrito para apoiar a rebelião e prometer um futuro brilhante.

O livro baseava-se, parcialmente, em antigas tradições relativas a um profeta, Daniel. Da boca de Daniel vieram descrições de visões apocalípticas[2]. Deus (chamado de "o Ancião dos Dias") faz sua aparição para punir os perversos:

"Eu estava, pois, observando essas coisas durante a visão noturna e eis que vi um *(personagem)* que parecia o Filho do Homem, que vinha com as nuvens do céu e que chegou até o Ancião dos *(muitos)* dias, e o apresentaram diante dele. E ele deu-lhe o poder, a honra e o reino; e todos os povos, tribos e línguas lhe serviram; o seu poder é um poder eterno que não lhe será tirado; e o seu reino não será jamais destruído" (Daniel 7: 13-14).

Este ser "que parecia o Filho do homem" se refere a alguém de forma humana, em contraposição aos inimigos de Judá, que haviam sido previamente representados sob a forma de diversas feras. A forma humana pode ser interpretada como representando Judá em abstrato, ou o Messias em particular.

A rebelião macabéia foi bem sucedida e um reino judeu restabelecido, mas isso também não trouxe a idade de ouro. Entretanto, os escritos proféticos mantiveram vivas as expectativas dos judeus durante os dois séculos seguintes: o dia do Juízo Final permaneceu sempre como quase iminente; o Messias estava sempre para chegar; o reino da justiça estava sempre a ponto de ser estabelecido.

Os romanos sucederam aos macabeus e, no reinado do Imperador Tibério, houve um pregador muito popular na Judéia, chamado João Batista, cuja mensagem continha a seguinte temática: "Fazei penitência porque está próximo o reino dos céus" (Mateus 3:2).

Com a expectativa universal assim constantemente reforçada, qualquer um que se proclamasse o Messias certamente teria seguidores; sob os romanos houve vários pretendentes que, politicamente, conduziram a nada. Dentre esses, contudo, figurava Jesus de Nazaré, a quem alguns humildes judeus seguiram e se mantiveram fiéis mesmo depois de Jesus ter sido crucificado sem que uma mão se erguesse para salvá-lo. Aqueles que acreditaram em Jesus como o Messias poderiam ter sido chamados de "messiânicos". Todavia, a língua dos seguidores de Jesus veio a ser o grego, na medida em que mais e mais gentios se convertiam, e, em grego, a palavra correspondente a Messias *é "Christos"*. Assim os seguidores de Jesus passaram a ser denominados "cristãos".

O sucesso inicial na conversão de gentios deveu-se às pregações missionárias carismáticas de Saulo de Tarso (o apóstolo Paulo) e, começando com ele, o cristianismo iniciou uma corrida de expansão que trouxe para a sua bandeira primeiro Roma, depois a Europa, depois grande parte do mundo.

Os primeiros cristãos criam que a chegada de Jesus o Messias, (isto é "Jesus Cristo") significava que o dia do Juízo Final estava prestes a vir. Ao próprio Jesus são atribuídas predíções do iminente fim do mundo: "Mas, naqueles dias, depois daquela tribulação, o Sol se escurecerá, a Lua não dará o seu resplendor; e as estrelas do céu cairão, e se comoverão as potestades que estão nos céus. Então verão o Filho do Homem vir sobre as nuvens com grande

poder e glória… Em verdade vos digo que não passará esta geração, sem que se cumpram todas estas coisas. O céu e a terra passarão… A respeito, porém, daquele dia ou daquela hora, ninguém sabe, nem os anjos do céu, nem mesmo o Filho, mas só o Pai" (Marcos 13: 24-27, 30-32).

Em aproximadamente 50 d.C, vinte anos após a morte de Jesus, o apóstolo Paulo ainda aguardava o dia do Juízo Final de um momento para o outro:

"Nós, pois, vos dizemos isto, segundo a palavra do Senhor, que nós, os que estamos vivos, que fomos reservados para a vinda do Senhor, não passaremos adiante daqueles que adormeceram. Porque o mesmo Senhor, com alarido, à voz do arcanjo e ao som da trombeta de Deus, descerá do céu, e os que morreram em Cristo ressuscitarão primeiro. Depois nós, os que vivemos, os que ficamos, seremos arrebatados juntamente com eles nas nuvens ao encontro de Cristo nos ares, e assim estaremos para sempre com o Senhor. Portanto, consolai-vos uns aos outros com estas palavras. Quanto ao tempo e ao momento *(desta segunda vinda de Jesus Cristo)* não tendes necessidade, irmãos, que vos escrevamos. Porque vós sabeis muito bem que o dia do Senhor virá como um ladrão durante a noite" (I Tessalonicenses 4: 15-18, 5: 1-2).

Paulo, como Jesus, fazia notar que o dia do Juízo Final viria logo, mas tinha o cuidado de não estabelecer uma data exata. O que ocorreu *é* que o dia do Juízo Final *não* veio; os maus *não* foram punidos, o reino ideal *não* foi estabelecido, e aqueles que acreditavam que Jesus era o Messias tiveram que se contentar com a crença de que o Messias teria que vir uma segunda vez (a parusia ou "segunda vinda") e que *então* tudo o que havia sido previsto ocorreria.

Os cristãos foram perseguidos em Roma, sob Nero, e, em maior escala, mais tarde, sob o Imperador Domiciano. Exatamente como a perseguição selêucida tinha gerado as promessas apocalípticas do Livro de Daniel nos tempos do Velho Testamento, assim as perseguições de Domiciano originaram as promessas apocalípticas do Livro do Apocalipse nos tempos do Novo Testamento. O Apocalipse foi provavelmente escrito em 95 d.C, durante o reinado de Domiciano.

Nesse livro, confusa e detalhadamente, o dia do Juízo Final é descrito.

Narra-se uma batalha final entre todas as forças do mal e as do bem, num lugar chamado Armagedom, contudo, os detalhes não são claros (Apocalipse 16: 14-16). Finalmente, porém, "E vi um novo céu e uma nova terra, porque o primeiro céu e a primeira terra desapareceram…" (Apocalipse 21:1).

É bem possível, portanto, que, qualquer que tenha sido a origem do mito escandinavo de Ragnarok, a versão que chegou a nós deva algo àquela batalha de Armagedom no Apocalipse, com sua visão de um universo regenerado. E o Apocalipse, por sua vez, deve muito ao Livro de Daniel.

MILENARISMO

O Livro do Apocalipse introduziu algo novo: “Vi, então, descer do céu um anjo que tinha a chave do abismo e uma grande cadeia na sua mão. E prendeu o dragão, a serpente antiga, que é o Demônio e Satanás, e amarrou-o por mil anos; meteu-o no abismo e fechou-o e pôs selo sobre ele, para que já não seduza mais as nações, até se completarem os mil anos; e depois disto deve ser solto por um pouco de tempo” (Apocalipse 20: 1-3).

Por que o demônio deva ter sua ação cerceada durante mil anos ou “milênio” e então solto “por um pouco de tempo” não está claro, mas pelo menos aliviou a aflição daqueles que criam que o dia do Juízo Final se aproximava. Poder-se-ia sempre dizer que o Messias tinha vindo e que o Demônio estava aprisionado, significando que o cristianismo podia resistir — mas a verdadeira batalha final e o verdadeiro fim viriam mil anos mais tarde[3].

Parecia natural supor-se que os mil anos tinham começado com o nascimento de Jesus, por isso no ano 1000 havia um clima de nervosa apreensão, mas passou — e o mundo não acabou.

As palavras de Daniel e do Apocalipse eram tão elípticas e obscuras, e a necessidade de crer tão grande, que permaneceu sempre possível uma releitura e reavaliação das vagas predições para levantamento de novas datas do dia do Juízo Final. Até grandes cientistas, como Isaac Newton e John Napier, ocuparam-se com isso.

Chamam-se “milenários” aqueles que tentaram calcular quando os cruciais mil anos se iniciariam e quando terminariam. Podem também ser chamados de “quiliastas”, da palavra grega para “mil anos”. Por estranho que pareça, o milenarismo, apesar dos repetidos desapontamentos, está agora mais fortalecido que nunca.

O movimento atual começou com William Miller (1782-1849), um oficial de exército que lutou na guerra de 1812. Até então um cético, após a guerra ele se transformou no que hoje denominamos “um cristão que nasceu de novo”. Começou com o estudo de Daniel e do Apocalipse e concluiu que a parusia ocorreria em 21 de março de 1844. Apoiado, para tanto, em diversos cálculos por ele mesmo realizados, predisse que o mundo terminaria em chamas, segundo o modelo das lúgubres descrições do Livro do Apocalipse.

Teve por seguidores cerca de 100 000 pessoas, muitas das quais, no dia indicado, tendo vendido seus bens materiais, se reuniram na encosta de uma colina para serem levadas para o alto, ao encontro com Cristo. O dia transcorreu sem incidentes; Miller refez seus cálculos e estabeleceu 22 de outubro de 1844 como o novo dia — o qual também passou normalmente.

Quando Miller morreu, em 1849, o universo ainda estava em pleno funcionamento.

Entretanto, muitos de seus seguidores não se desencorajaram.

Interpretaram os livros bíblicos apocalípticos de maneira que os cálculos de Miller indicassem o início de algum processo celestial ainda invisível à consciência terrena. Haveria ainda um outro “milênio” de espera, e a real parusia, ou “segunda vinda” de Jesus, foi postergada mais uma vez — porém, como sempre, para um futuro não tão distante.

Assim foi fundado o movimento adventista, que se subdividiu em várias seitas diferentes, incluindo os Adventistas do Sétimo Dia, que retornaram a costumes do Velho Testamento, como guardar o sábado (o sétimo dia).

Um dos que adotaram as crenças adventistas foi Charles Taze Russell (1852-1916), que, em 1879, fundou uma organização que veio a se chamar Testemunhas de Jeová. Russell esperava a parusia de um momento para outro e predisse várias datas para isso, tal como Miller, decepcionando-se a cada vez. Morreu durante a Primeira Guerra Mundial, a qual deve ter-lhe parecido ser o começo das batalhas finais descritas no Apocalipse — mas novamente o Advento não veio.

O movimento continuou a florescer, contudo, com Joseph Franklin Rutherford (1869-1942). Ele aguardava a parusia com o empolgante *slogan:* "Milhões vivendo agora jamais morrerão". Ele mesmo morreu durante a Segunda Guerra Mundial, que, mais uma vez, deve ter parecido ser o início das batalhas finais descritas no Apocalipse — mas novamente o Advento não se seguiu.

Apesar disso, o movimento floresce, e, agora, alega agregar mais de 1 milhão de fiéis em todo o mundo.

2 — O AUMENTO DE ENTROPIA

AS LEIS DA CONSERVAÇÃO

Assim é o "universo mítico". Ao lado da visão mítica, todavia, existe uma visão científica do universo, visão essa baseada na observação e na experiência (e, ocasionalmente, em percepções intuitivas que devem, contudo, ser confirmadas pela observação e pela experiência).

Consideremos esse universo científico (como se fará ao longo deste livro). Será que o universo científico, tal qual o mítico, está fadado a ter um fim? Se assim for, como, por quê e quando?

Os filósofos gregos da Antigüidade sentiam que, enquanto na Terra ocorriam mudanças, corrupção e deterioração, os corpos celestes seguiam diferentes leis e eram imutáveis, incorruptíveis e eternos. Os cristãos medievais acreditavam que o Sol, a Lua e as estrelas compartilhariam a ruína comum do dia do Juízo Final, mas que até então eles seriam, se não eternos, pelo menos imutáveis e incorruptíveis.

Tal visão começou a se modificar quando o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) publicou um livro cuidadosamente fundamentado, em 1543, segundo o qual a Terra era deslocada de sua posição privilegiada no centro do universo e era vista como um planeta que, da mesma forma que os outros, girava em torno do Sol. Era o Sol que, então, assumia a posição central privilegiada.

Naturalmente a visão copernicana não foi adotada de imediato; de fato, ela sofreu violenta oposição durante sessenta anos. Foi com o advento do telescópio, usado para se estudar o céu, a partir de 1609, pelo cientista italiano Galileu (1564-1642), que se modificou a oposição ao novo conceito, agora com respeitabilidade científica, reduzindo-a a mero obscurantismo renitente.

Galileu descobriu, por exemplo, que Júpiter tinha quatro satélites que constantemente orbitavam ao seu redor, refutando de vez a noção de que a Terra era o centro à volta do qual *iodas* as coisas giravam. Descobriu que Vênus apresentava um ciclo completo de fases lunares, como Copérnico previra, onde pontos de vista anteriores tinham afirmado o contrário.

Através de seu telescópio, Galileu também viu que a Lua era coberta por montanhas, crateras e o que ele imaginou serem mares, demonstrando que ela (e, por extensão, os outros planetas) era um lugar como a Terra e, portanto, presumivelmente sujeito às mesmas leis de mutabilidade, corrupção e deterioração. Detectou manchas escuras na superfície do próprio Sol, de maneira que mesmo esse objeto transcendente, dentre todas as coisas materiais o mais aproximado da perfeição de Deus, era, afinal de contas, imperfeito.

Na busca do eterno — ou, pelo menos, daqueles aspectos do eterno que podiam ser

observados e eram, portanto, parte do universo científico — ter-se-ia que alcançar um nível mais abstrato de experiência. Se as coisas não eram eternas, talvez a relação entre elas é que o fosse.

Em 1668, por exemplo, o matemático inglês John Wallis (1616-1703) investigou o comportamento de corpos em colisão e deduziu a noção de que, no processo de colisão, algum aspecto do movimento não muda.

O processo é o seguinte: cada corpo que se move tem algo chamado "momento". Seu momento é igual à sua massa (que pode ser definida *grosso modo* como a matéria que ele contém) multiplicada por sua velocidade. Se o movimento se dá numa certa direção, o momento recebe um sinal positivo; se em direção oposta, um sinal negativo.

Se dois corpos se aproximarem de frente, resultará um momento total que pode ser determinado subtraindo-se o momento negativo de um deles do momento positivo do outro. Depois do choque e da retração, a distribuição do momento entre os dois corpos será diferente, mas o momento total será o mesmo que antes. Se eles colidirem e se fundirem, o novo corpo formado terá massa e velocidade diferentes das dos dois separadamente, mas o momento total permanecerá o mesmo. O momento total permanece o mesmo, ainda que os corpos se choquem em ângulo, em vez de na mesma direção, e se afastem em direções opostas.

A partir das experiências de Wallis e de outras feitas desde então, resulta que em qualquer "sistema fechado" (sistema em que não há trocas com o exterior) o momento total é sempre o mesmo. A distribuição do momento entre os corpos em movimento no sistema pode se modificar de infinitas formas, mas o total continua o mesmo. O momento *é,* portanto, "conservado", ou seja, não há acréscimos nem decréscimos; o princípio que rege esse fenômeno se chama "lei da conservação do momento".

Sendo o universo o único sistema verdadeiramente fechado, a forma mais geral de se conceituar a lei da conservação do momento é afirmar que "o momento total do universo é constante". Em essência, ele não muda jamais — por mais que ocorram mudanças de qualquer natureza.

Como podemos ter certeza? Como podemos afirmar, com base em observações científicas feitas em laboratório durante os últimos séculos, que o momento se conservava o mesmo há 1 milhão de anos ou que isso ainda ocorrerá passado mais 1 milhão de anos? Como podemos asseverar que ele se conserva em outra galáxia a 1 milhão de anos-luz, ou nos arredores de nosso planeta sob condições incomuns tais como as do centro do Sol?

Não podemos declarar com firmeza. Tudo o que se pode dizer é que jamais, sob quaisquer condições, foi possível observar uma violação dessa lei; nem pudemos detectar algo que aponte para a viabilidade de um dia ela ser violada. Além disso, todas as conseqüências que deduzimos da admissão da validade da lei parecem ter sentido e combinar com o que se observou.

Nessa medida, os cientistas sentem-se autorizados a admitir (aguardando evidência em contrário) que a conservação do momento é uma "lei da natureza" que se aplica através de todo o tempo e espaço e sob quaisquer condições.

A conservação do momento foi apenas a primeira de uma série de leis da conservação

elaboradas pelos cientistas. Pode-se, por exemplo, falar de "momento angular", que é uma propriedade dos corpos que giram em torno de um eixo de rotação, ou ao redor de um segundo corpo, o que necessariamente implica um outro eixo de rotação. Em ambos os casos, calcula-se o momento angular a partir da massa e velocidade de rotação do corpo e da distância média

entre suas partes e o eixo ou centro ao redor do qual a rotação é feita. Resulta que há uma lei da conservação do momento angular. O momento total do universo é sempre constante.

Mais: os dois tipos de momento são independentes um do outro e não são permutáveis. É impossível transformar o momento angular em momento comum (às vezes chamado de "momento linear", para diferenciá-lo do outro), ou vice-versa.

Em 1774, uma série de experimentos realizados pelo químico francês Antoine-Laurent Lavoisier (1743-94) sugeriu que a massa se conservava. Num sistema fechado, alguns corpos poderiam perder e outros ganhar massa, mas a massa total do sistema se mantinha constante.

Gradualmente, o mundo científico desenvolveu o conceito de "energia", a propriedade de um corpo que o capacita a trabalhar. (A própria palavra "energia" vem de uma expressão grega que significa "que contém trabalho".) O primeiro a usar essa palavra no sentido moderno foi o físico inglês Thomas Young (1773-1829), em 1807. Vários fenômenos diferentes — o calor, o movimento, a luz, o som, a eletricidade, o magnetismo, as transformações químicas e assim por diante — eram capazes de efetuar trabalho e, por conseguinte, passaram a ser considerados formas diversas de energia.

Surgiu a noção de que uma forma de energia poderia se converter em outra; que alguns corpos poderiam, de uma ou outra maneira, ceder energia e que outros poderiam, igualmente, ganhar energia, mas que, em qualquer sistema fechado, o total de energia de todas as formas era constante. Longe de ser o primeiro a constatar isso, o físico alemão Hermann L.F. von Helmholtz (1821-94) conseguiu, contudo, em 1847, persuadir a comunidade científica em geral de que, realmente, ele é que o fizera. Ele é, portanto, usualmente considerado o descobridor da lei da conservação de energia.

Em 1905, o físico germano-suíço Albert Einstein (1879-1955) apresentou convincentes argumentos de que a massa era mais uma modalidade de energia e que uma dada quantidade de massa poder-se-ia converter numa quantidade fixa de energia e vice-versa.

Por essa razão, a lei da conservação de massa desapareceu enquanto lei distinta, e fala-se, hoje, na lei da conservação de energia apenas, ficando claro que a massa se inclui entre as formas de energia.

Quando a estrutura do átomo foi determinada pelo físico inglês Ernest Rutherford (1871-1937), em 1911, descobriu-se que existiam partículas subatômicas que não só seguiam as leis da conservação de momento, momento anguiar e energia, mas também as leis da conservação de carga elétrica, do número de bárions, do spin isotópico e outras leis semelhantes.

As diversas leis da conservação são, com efeito, as regras básicas do jogo sobre que se assentam todas as partículas e peças constituintes do universo, e, pelo que se sabe, todas essas leis são gerais e eternas. Se uma lei da conservação se provar inválida, então é porque ela é meramente parte de uma lei mais abrangente. Assim, a conservação da massa acabou por ser invalidada, mas apenas por ser parte de uma conservação de energia mais geral, que inclui a

massa.

Aqui está, pois, um aspecto do universo que parece ser eterno — sem início nem fim. A energia que o universo agora contém será sempre precisamente a mesma; a mesma quantidade dela sempre existiu, existe e existirá. O mesmo se aplica em relação a momento, momento angular, carga elétrica e assim por diante. Quaisquer tipos de modificações locais podem ocorrer como resultado de ganhos ou perdas de uma ou mais propriedades de conservação nesta ou naquela parte do universo — mas o total foi, é e será imutável.

FLUXO DE ENERGIA

Podemos, agora, traçar um paralelo entre o universo mítico e o universo científico.

No caso do universo mítico, há um reino celeste imorredouro, eterno, em contraposição ao mundo humano — mutável — com que estamos familiarizados. É a esse mundo mutável que nos referimos quando pensamos num fim; é só em relação a ele que as palavras "'início" e "fim" adquirem um sentido. E, sob esse aspecto, ele não é apenas mutável, é temporário.

No universo científico, há propriedades conservadas — eternas, imorredouras — em contraposição a um mundo mutável que se exaure na base das e segundo as regras daquelas propriedades conservadas. É só em relação a esse mundo que as palavras "início" e "fim" adquirem um sentido.

E, sob esse aspecto, não é apenas mutável, é temporário.

Mas por que o universo científico deveria apresentar tal aspecto mutável e temporário? Por que todos os componentes do universo não se reúnem num objeto maciço com um certo momento angular, carga elétrica, conteúdo energético e outras constantes, sem jamais mudar?

Por que, em vez disso, o universo consiste numa miríade de objetos de todos os tamanhos que constantemente transferem partes das propriedades conservadas de um para outro[4]?

O poder propulsor subjacente a essas mudanças é, aparentemente, a energia, de forma que ela parece ser a mais importante das propriedades do universo, e a conservação de energia é considerada por muitos a mais básica de todas as leis naturais.

A energia provoca todas as mudanças no universo, participando, ela mesma, das mudanças. Porções de energia fluem de um lugar para outro, de um corpo para outro, chegando a mudar de forma durante tais processos. Isso significa que temos que nos perguntar o que impulsiona a energia a comportar-se dessa maneira.

A razão para isso parece ser o fato de que a energia está espalhada pelo universo de modo desigual; apresenta-se em maior concentração em alguns lugares e em menor em outros. Todo o fluxo de suas porções (de um lugar a outro, de um corpo a outro, de uma forma para outra) ocorre de modo tal que a tendência é equilibrar a distribuição[5]. O fluxo de energia que converte uma distribuição desigual em equilibrada pode ser aproveitado para produzir trabalho e realizar todas as mudanças que observamos; todas as mudanças que associamos ao

universo como o conhecemos, com vida e inteligência.

É importante notar que o nivelamento de energia é espontâneo. Nada precisa impulsionar o fluxo energético para que se efetue. Acontece por si só.

É “auto-regulador”.

Analisemos um exemplo simples. Suponhamos dois recipientes de mesmo tamanho ligados na base por um tubo horizontal, que é bloqueado de modo a impedir qualquer comunicação entre os dois recipientes. Poderemos encher um dos dois com água até a borda, ao passo que, no outro, poremos só um pouquinho de água.

O recipiente que está cheio tem um nível de água mais alto, na média, que o outro. Para elevar o nível da água em detrimento da força gravitacional, requer-se uma quantidade de energia. Nessa medida, a água do recipiente cheio tem um nível de energia — com respeito ao campo gravitacional — maior que a água do recipiente quase vazio. Por razões históricas, dizemos que a água do recipiente cheio tem mais “energia potencial” que a água do recipiente quase vazio.

Imaginemos, agora, que o tubo que conecta os dois recipientes seja aberto. Imediatamente, a água escoará do lugar em que ela contém maior energia potencial para o lugar em que essa é menor. A água passará do recipiente cheio para o quase vazio — espontaneamente.

Tenho certeza de que não há dúvidas na mente de ninguém — contanto que essa mente tenha tido um mínimo de experiência com o mundo — de que esse é um evento espontâneo e inevitável. Se o tubo fosse aberto e a água deixasse de escoar do recipiente cheio para o quase vazio, concluiríamos imediatamente que o tubo de conexão não ficou realmente aberto. Se o pouco de água do recipiente quase vazio escoasse para o cheio, seríamos obrigados a crer que a água estava sendo bombeada.

Se o tubo estivesse de fato aberto e fosse evidente que não havia bombeamento e a água do recipiente cheio não passasse para o quase vazio ou, pior ainda, se o oposto acontecesse, seríamos forçados a chegar à aflita conclusão de que testemunhávamos o que só pode ser descrito como milagre.

(É desnecessário dizer que um milagre de tal natureza jamais foi testemunhado e registrado nos anais da ciência[6].) De fato, é tão certo o fluxo espontâneo da água dessa forma, que o usamos, automaticamente, como medida da direção do fluxo de tempo.

Suponhamos, por exemplo, que tivessem sido filmados os eventos dos dois recipientes e estivéssemos assistindo aos resultados. O tubo de conexão é aberto e a água não escoa. Imediatamente pensaríamos que o filme não estava rodando e que estávamos assistindo a uma paralisação cênica. Em outras palavras: no universo cinematográfico, o tempo tinha parado.

Suponhamos, mais uma vez, que o filme mostrasse a água do recipiente quase vazio escoando para o cheio. Teríamos certeza de que o filme estava sendo rodado ao contrário. No universo cinematográfico, a direção do fluxo de tempo era o inverso do que é na vida real. (É por isso que o fato de se passar um filme ao contrário é quase que invariavelmente hilariante porque, então, aparecem inúmeros eventos que, sabemos, nunca acontecem na vida real. A água que chapinha “para dentro” enquanto um mergulhador emerge dela primeiramente com os pés, depois com o resto do corpo e, por último, com a cabeça, para, finalmente, aterrizar no

trampolim; os cacos de vidro que se juntam perfeitamente para refazer um copo intato; cabelos desfeitos que recuperam um penteado perfeito. Assistindo a qualquer dessas tomadas, podemos perceber quantos eventos da vida real são claramente espontâneos; quantas reversões, se possíveis, pareceriam miraculosas; e como podemos distingui-los com facilidade simplesmente pela experiência.)

Voltando aos recipientes de água, é fácil demonstrar que a velocidade de passagem da água do recipiente cheio para o quase vazio depende da diferença da distribuição de energia. No início, a energia potencial da água do recipiente cheio é consideravelmente maior que a energia potencial da água do quase vazio; portanto, a água escoa rapidamente.

À medida em que o nível de água caí no recipiente cheio e aumenta no quase vazio, a diferença de energia potencial entre os dois recipientes decresce continuamente, de modo que a distribuição de energia é menos desigual e a água escoa com velocidade visivelmente decrescente. Quando os níveis de água estão quase se igualando, a água escoa muito vagarosamente; quando os níveis dos dois recipientes estão igualados, e não há diferença de energia potencial entre ambos, o fluxo de água pára.

Resumindo, a mudança espontânea se dá de um estado de distribuição desigual de energia para uma distribuição de energia homogênea e com uma velocidade proporcional ao grau de desigualdade. Uma vez alcançada a distribuição homogênea, a mudança *cessa.*

Se estivéssemos observando dois recipientes de água ligados e com nível de água igual em ambos e se, sem qualquer intervenção externa, a água escoasse de um recipiente para outro, de maneira que o nível em um aumentasse e no outro caísse, estaríamos testemunhando um milagre.

A água em movimento pode produzir trabalho. Pode girar uma turbina que gerará um fluxo de eletricidade ou pode, simplesmente, transportar coisas. À medida em que a velocidade do fluxo de água diminui, o índice de trabalho capaz de ser realizado diminui. Quando o fluxo pára de vez, torna-se impossível a realização de trabalho.

Quando o fluxo de água pára, porque a altura da água é a mesma em ambos os recipientes, tudo pára. Toda a água ainda está lá. Toda a energia ainda está lá. Tanto a água como a energia, no entanto, não *mais estão desigualmente distribuídas. É* a distribuição irregular de energia que produz mudança, movimento e trabalho, à medida em que busca um equilíbrio na distribuição. Uma vez conseguido, não mais existe mudança, movimento, ou trabalho.

Além disso, a mudança espontânea é sempre no sentido da distribuição desigual para a equilibrada; ocorrido isso, nada de espontâneo inverterá o processo[{7}].

Tomemos outro exemplo, agora envolvendo calor em vez de nível de água. De dois corpos, um pode conter maior intensidade de energia térmica que o outro. O nível de intensidade de energia térmica é medido como "temperatura".

Quanto mais alta a intensidade de energia térmica de um corpo, mais elevada é sua temperatura e mais quente ele está. Podemos portanto falar de um corpo quente e um corpo frio e considerá-los equivalentes ao nosso caso anterior dos recipientes cheio e quase vazio.

Suponhamos que os dois corpos formem um sistema fechado, de modo que nenhum calor possa ser-lhes acrescido (vindo do universo externo) nem retirado (indo para o universo

externo). Imaginemos que os dois corpos, o quente e o frio, foram postos em contato.

Por experiência própria, sabemos exatamente o que aconteceria. O calor fluiria do corpo quente para o frio, da mesma maneira que a água escoa do recipiente cheio para o vazio. À medida em que o fluxo de calor continuasse, o corpo quente resfriaria e o frio esquentaria, como o recipiente cheio torna-se menos cheio e o vazio, menos vazio. Finalmente, os dois corpos teriam a mesma temperatura, exatamente como os dois recipientes terminam por ter o mesmo nível de água.

Percebe-se, mais uma vez, que a velocidade do fluxo térmico do corpo quente para o frio depende do grau de desigualdade da distribuição de energia. Quanto maior a diferença de temperatura entre os dois corpos, mais rapidamente o calor fluirá do corpo quente para o frio. À medida em que o corpo quente esfria e o frio esquenta, a diferença de temperatura diminui, o mesmo valendo para a velocidade do fluxo térmico. Finalmente, quando os dois corpos atingem a mesma temperatura, o fluxo de calor se interrompe e deixa de se mover em qualquer das direções.

Outra vez ainda, essa direção do fluxo térmico é espontânea. Se dois corpos com diferentes temperaturas fossem postos em contato e o calor não fluísse, ou se o calor fluísse do corpo frio para o quente de maneira que o corpo frio ficasse ainda mais frio e o quente, mais quente ainda — e se tivéssemos certeza de estar lidando com um sistema realmente fechado e sem truques —, então teríamos que concluir estarmos testemunhando um milagre.

(Mas tal milagre jamais foi testemunhado e registrado por cientistas.) Assim, então, uma vez que os corpos tenham a mesma temperatura, qualquer fluxo térmico capaz de causar modificações na temperatura de um dos corpos não pode acontecer.

Tais mudanças também se relacionam com o fluxo de tempo. Se filmássemos os dois objetos, focalizando um termômetro preso a cada um deles, e notássemos que uma das temperaturas permanecia alta e a outra, baixa, sem modificação, concluiríamos que o filme não estava rodando. Se percebêssemos que a coluna de mercúrio no termômetro com temperatura mais alta subia ainda mais, ao passo que a coluna no outro caía mais, concluiríamos que o filme estava sendo rodado ao contrário.

Utilizando-nos de um corpo quente e de um outro frio, poderíamos produzir trabalho por meio do calor. O calor do corpo quente poderia evaporar um líquido e o vapor em expansão empurraria um pistão. O vapor, então, aqueceria o corpo frio, liquefar-se-ia de novo e o processo reproduzir-se-ia indefinidamente.

À medida em que o trabalho é realizado e o calor flui, o corpo quente transfere seu calor para o líquido em evaporação e o vapor, enquanto se condensa, transfere seu calor ao corpo frio. O corpo quente, por conseguinte, resfria-se progressivamente, ocorrendo o inverso no corpo frio. À medida em que as temperaturas se nivelam, a velocidade do fluxo térmico diminui, o mesmo valendo para a quantidade de trabalho efetuado. Quando ambos os corpos atingem a mesma temperatura, cessam o fluxo térmico e o trabalho.

Os corpos ainda estão presentes, toda a energia térmica tambem, mas não há mais uma distribuição de calor desigual e, portanto, não há mais mudanças, movimento ou trabalho. Mais uma vez a mudança espontânea se faz no sentido da distribuição desigual da energia para a equilibrada e, por conseqüência, de capacidade para modificação, movimento e trabalho

para a ausência de tal capacidade. E assim, uma vez ausente essa capacidade, ela não mais reaparece.

A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Os estudos sobre energia geralmente envolvem meticulosa consideração de fluxo térmico e mudança de temperatura, porque este é o aspecto mais fácil de se manejar em laboratório — e porque foi também particularmente importante numa época em que máquinas a vapor eram o método básico de conversão de energia em trabalho. Por essa razão, a ciência da transformação energética, do fluxo energético e da conversão de energia em trabalho foi denominada "termodinâmica", termo oriundo de palavras gregas que significam "movimento e calor".

A lei da conservação de energia é, às vezes, chamada de "primeira lei da termodinâmica", porque é a regra mais básica que dita o que acontecerá e o que não acontecerá com a energia.

A "segunda lei da termodinâmica" consiste na descrição da mudança espontânea da distribuição desigual de energia para a equilibrada.

A segunda lei da termodinâmica foi primeiro vislumbrada em 1824, quando o físico francês Nicolas L.S. Carnot (1796-1832) começou a estudar detalhadamente o fluxo de energia em máquinas a vapor.

No entanto, foi somente em 1850 que o físico alemão Rudolf J.E. Clausius (1822-88) sugeriu que esse processo de nivelamento se aplicava a todas as formas de energia e a todos os eventos no universo. Por isso ele é considerado o descobridor da segunda lei da termodinâmica.

Clausius demonstrou que uma quantidade baseada na razão entre total de calor e temperatura em qualquer corpo dado era importante no que se refere ao processo de nivelamento. Deu a essa quantidade o nome de "entropia". Quanto mais baixa a entropia, mais desigual a distribuição de energia. Quanto maior a entropia, mais equilibrada aquela distribuição. Já que a tendência espontânea parece ser invariavelmente no sentido de equilibrar desiguais distribuições de energia, podemos dizer que a tendência espontânea parece ser a de que tudo se mova de uma baixa para uma alta entropia.

Podemos recolocar a questão da seguinte maneira: A primeira lei da termodinâmica afirma: a quantidade de energia no universo é constante.

A segunda lei da termodinâmica afirma: a quantidade de entropia do universo está progressivamente aumentando.

Se a primeira lei da termodinâmica parece denotar que o universo é imortal, a segunda lei demonstra que essa imortalidade é, de certo modo, inválida. A energia sempre estará presente, mas nem sempre poderá realizar mudanças, movimento e trabalho.

Algum dia, a entropia do universo alcançará um ponto máximo e toda a energia se

equilibrará. Assim, embora toda a energia ainda esteja presente, será impossível, posteriormente, qualquer mudança, movimento, trabalho, vida ou inteligência. O universo sempre existirá, mas apenas como uma escultura em gelo. O filme terá parado de rodar e estaremos para sempre vendo uma cena estática.

Sendo o calor a forma menos organizada de energia e a que mais fácil e regularmente se espalha, toda mudança de energia não-térmica para energia térmica representa um aumento de entropia. A mudança espontânea acontece sempre no sentido: eletricidade para calor, energia química para calor, energia radiante para calor, e assim por diante.

No máximo da entropia, portanto, todas as modalidades de energia que assim se comportam converter-se-ão em calor, e todas as partes do universo terão a mesma temperatura. Isso é às vezes chamado de "morte do universo pelo calor" e, pelo exposto até aqui, parece representar um fim inevitável e inexorável.

Os fins dos universos mítico e científico são, desse modo, bem diferentes. O universo mítico se acaba numa vasta conflagração, "caindo aos pedaços"; termina num estrondo. O universo científico, se sujeito à morte pelo calor, termina num profundo suspiro.

O fim do universo mítico parece estar sempre sendo aguardado para um futuro próximo. O fim do universo científico pela morte do calor está muito longe disso: a pelo menos mil bilhões de anos, talvez muitos mil bilhões de anos distante. Considerando que o universo, atualmente, conta com apenas 15 bilhões de anos, segundo as últimas estimativas, estamos claramente na infância de sua existência.

No entanto, embora o fim do universo mítico seja em geral descrito como violento e próximo, é aceito porque engendra a promessa de regeneração. O fim do universo científico, pela morte por calor, mesmo que pacífico e distante, parece não incluir promessa de regeneração, mas, pelo contrário, ser definitivo e, aparentemente, isso é algo difícil de se aceitar.

Procuram-se, pois, meios para escapar a isso.

Afinal de contas, processos espontâneos podem, apesar de tudo, ser invertidos. Pode-se bombear água para cima, contra sua tendência de manter nível estável. Objetos podem ser resfríados abaixo da temperatura ambiental e conservar tal temperatura se guardados num refrigerador, ou aquecidos acima da temperatura ambiental e conservá-la se postos num forno. Vista por esse ângulo, pareceria possível a derrota do inexorável aumento da entropia.

O processo de aumento de entropia é, às vezes, descrito imaginando-se o universo como um imenso e indescritivelmente intricado relógio, que está parando vagarosamente por falta de corda. Bem, os seres humanos possuem relógios que podem parar e realmente param por falta de corda, mas podemos sempre dar-lhes corda. Não poderia haver algum processo análogo para o universo?

Na verdade, não devemos imaginar que um decréscimo da entropia só possa suceder causado por ações humanas deliberadas. A própria vida, bastante independente da inteligência humana, parece desafiar a segunda lei da termodinâmica. Indivíduos morrem, mas novos indivíduos nascem e a juventude é, agora, tão predominante quanto sempre foi. A vegetação morre no inverno, mas cresce novamente na primavera. A vida tem existido na Terra por mais de 3

bilhões de anos e não mostra sinal de se esgotar. Na verdade, tudo denota um fortalecimento, dado que, em toda a sua história na Terra, a vida tem se tornado cada vez mais complexa, tanto no caso de organismos individuais como na teia ecológica que os liga uns aos outros. A história da evolução biológica representa um *grande* decréscimo de entropia.

Por causa disso, algumas pessoas chegaram a definir a vida como um dispositivo de diminuição de entropia. Se isso fosse verdade, então o universo nunca experimentaria uma morte pelo calor, já que, onde quer que a vida exercesse influência, isso automaticamente agiria para diminuir a entropia. Verifica-se, contudo, que tudo isso é incorreto. A vida não é um dispositivo de diminuição de entropia e não pode, por si só, evitar a morte pelo calor. A descrença nessas afirmativas é fruto de compreensão falha e fantasias.

As leis da termodinâmica aplicam-se a sistemas fechados. Se uma bomba é usada para diminuir a entropia com a elevação do nível de água, a bomba deve ser considerada parte do sistema. Se um refrigerador é utilizado para diminuir a entropia pelo resfriamento de objetos a uma temperatura abaixo da ambiental, o refrigerador deve ser considerado parte do sistema.

Nem a bomba nem o refrigerador podem ser olhados separadamente. Onde quer que estejam ligados, qualquer que seja sua fonte, isso, também, deve ser considerado parte do sistema.

Sempre que seres e utensílios humanos são usados para diminuir a entropia e inverter uma reação espontânea, o que ocorre é que eles sofrem um aumento de entropia. Mais: o aumento de entropia dos seres humanos e de seus instrumentos é *invariavelmente* maior que o decréscimo de entropia daquela parte do sistema onde uma reação espontânea está sendo invertida. A entropia do sistema inteiro, portanto, aumenta; *sempre* aumenta.

Como se vê, um ser humano é capaz de inverter muitas, muitas reações espontâneas durante sua vida, e muitos seres humanos trabalhando conjuntamente construíram a imensa rede tecnológica que cobre a Terra, das pirâmides do Egito e a Grande Muralha da China aos mais modernos arranha-céus e diques. É possível sentir tamanho crescimento de entropia e ainda continuar vivendo?

Não podemos considerar os seres humanos isoladamente. Eles não formam sistemas fechados. Um ser humano come, bebe, respira, elimina detritos; tudo isso são conexões com o universo exterior, canais por onde a energia entra e sai. Se desejarmos considerar um ser humano como um sistema fechado, teremos de levar em conta igualmente o que ele come, bebe, respira e elimina.

A entropia de um ser humano aumenta quando ele inverte eventos espontâneos e continuamente estimula aquela porção do universo que ele pode atingir e, como já disse, seu aumento de entropia supera o decréscimo de entropia que ele realiza. Entretanto, um ser humano continuamente faz baixar sua entropia de novo, com a atividade de comer, beber, respirar e eliminar. (Essa diminuição não é, naturalmente, perfeita; cada ser humano certamente morre, não importa quanto sucesso tenha tido em evitar acidentes e doenças, devido a vagarosos aumentos entrópicos aqui e ali que não podem ser anulados.)

Contudo, o aumento na entropia da comida, água, ar e eliminações do sistema está, mais uma vez, muito acima do decréscimo de entropia no próprio ser humano. Em termos do sistema inteiro, há um aumento de entropia.

De fato, não só o ser humano mas toda a vida animal prospera e mantém sua entropia num nível baixo à custa de um grande aumento na entropia de sua comida que, em última análise, consiste na vegetação da Terra. Como, então, o mundo vegetal continua a existir? Afinal de contas, ele não pode existir por muito tempo se sua entropia cresce continuamente.

O mundo vegetal produz a comida e o oxigênio (componente fundamental do ar) de que o mundo animal necessita, pelo processo chamado “fotossíntese”. Há bilhões de anos que o faz; mas, então, a vida vegetal e animal tomada como um todo não é também um sistema fechado. As plantas recebem a energia que estimula sua produção de comida e oxigênio da luz solar.

É a luz solar, portanto, que faz a vida possível. Por conseguinte, o próprio Sol deve ser incluído como parte do sistema vital, antes de se aplicar as leis da termodinâmica à vida. E a entropia do Sol cresce regularmente, a uma proporção que ultrapassa de muito qualquer decréscimo entrópico possivelmente resultante da vida. A troca satisfatória na entropia do sistema que inclui a vida *e* o Sol é, assim, um crescimento constante e pronunciado.

O grande decréscimo de entropia representado pela evolução biológica, então, é apenas uma gota no oceano do aumento de entropia representado pelo Sol; ater-se à gota em detrimento do oceano é interpretar os fatos da termodinâmica de modo completamente errôneo.

Além da comida que ingerem e do oxigênio que respiram, os seres humanos se utilizam de outras fontes de energia. Utilizam-se da energia do vento e da água corrente, mas ambos são produtos do Sol, na medida em que os ventos são a resultante do aquecimento desigual da Terra pelo Sol e a água corrente deriva-se da evaporação dos oceanos pelo Sol.

Os homens também usam a queima de combustível para obter energia.

Porém, o combustível pode derivar de madeira ou outros produtos vegetais, que são dependentes da luz solar. Ou de produtos animais, e os animais se alimentam de plantas. Pode apresentar-se sob a forma de carvão, produto de épocas passadas de crescimento vegetal. Ou sob a forma de petróleo, resultado de épocas passadas de crescimento animal microscópico. Todos esses combustíveis, em última análise, derivam do Sol.

Existe na Terra energia que não provém do Sol. Há energia no calor interno da Terra, o qual produz fontes de água quente, os gêiseres, terremotos, vulcões e modificação da crosta terrestre. Há energia na rotação da Terra, evidenciada pelas marés. Há energia em reações químicas inorgânicas e na radioatividade.

Todas essas fontes energéticas produzem mudanças, mas, em todos os casos, a entropia cresce. Materiais radioativos vão lentamente sendo consumidos; quando seu calor não mais se adicionar ao suprimento interno da Terra, esta se resfriará. O atrito com o ar está gradualmente tornando mais lenta a rotação da Terra. Até o Sol certamente perderá seu suprimento de energia produtora de trabalho à medida em que sua entropia crescer. E a evolução biológica dos últimos 3 bilhões de anos, que parece um processo de decréscimo de entropia tão admirável, tem-no feito sobre a base do crescimento entrópico de todas essas fontes de energia e, aparentemente, nada pode fazer para deter *esse* crescimento.

A longo prazo, parece que nada pode obstar o aumento do nível de entropia ou impedir que alcance seu máximo, momento em que chegará a morte do universo pelo calor. E se os seres humanos puderem escapar de todas as outras catástrofes e ainda existirem daqui a trilhões de

anos, não terão de curvar-se ante o inevitável e morrer pelo calor?

Pelo que se disse até aqui, provavelmente, sim.

MOVIMENTO AO ACASO

Entretanto, há algo perturbador nesse quadro de constante aumento de entropia do universo, coisa que se revela ao voltarmos os olhos para o passado.

Como a quantidade de entropia do universo está crescendo a passo regular, deve então ter sido menor há 1 bilhão de anos, ainda menor há 2 bilhões, e assim por diante. Em dado momento, se voltarmos o suficiente, a entropia do universo deve ter sido zero.

Atualmente, os astrônomos acreditam que o universo surgiu há aproximadamente 15 bilhões de anos. Segundo a primeira lei da termodinâmica, a energia do universo é eterna. Nessa média, quando afirmamos ter o universo surgido há 15 bilhões de anos, não queremos dizer que a energia (incluindo a matéria) do universo foi criada nessa época. Ela sempre existiu. Tudo o que podemos dizer é que, naquele momento, o relógio entrópico começou a funcionar.

Mas o que lhe deu corda, antes de mais nada?

Para responder a essa pergunta, voltemos a meus dois exemplos do aumento espontâneo de entropia — a água escoando de um recipiente cheio para um quase vazio e o calor fluindo de um corpo quente para um frio.

Deixei implícito que os dois são estritamente análogos; que o calor flui tanto quanto a água e que se comporta da mesma maneira. Contudo, essa analogia se faz problemática. É fácil ver por que a água nos dois recipientes age daquela forma. Há gravidade pressionando-a naquele sentido. Respondendo à pressão gravitacional desigual nos dois recipientes, a água flui do cheio para o quase vazio. Quando ambos contêm o mesmo nível de água, a pressão gravitacional se iguala nos dois e deixa de existir movimento. Mas o que, analogamente à gravidade, pressiona o calor e o "arrasta" do corpo quente para o frio? Antes de responder a isso, temos que perguntar: que é calor?

No século XVIII, acreditava-se que o calor era um fluido como a água, mas muito mais etéreo, e, desse modo, capaz de escoar para dentro e fora de interstícios de objetos aparentemente sólidos, assim como uma esponja absorve e deixa escorrer água.

Em 1798, todavia, o físico anglo-americano Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814), estudou a produção de calor a partir da fricção originada da perfuração de cilindros e sugeriu que o calor, na verdade, era o movimento de partículas de matéria muito pequenas. Em 1803, o químico inglês John Dalton (1766-1844) enunciou a teoria atômica da matéria. Toda matéria era constituída por átomos, afirmou. Segundo o ponto de vista de Rumford, o calor poderia ser representado pelo movimento desses átomos.

Por volta de 1860, o matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-79) enunciou a "teoria cinética dos gases", mostrando como interpretar seu comportamento em termos dos átomos ou

moléculas[8] que os constituíam. Ele demonstrou que essas minúsculas partículas, movendo-se ao acaso e colidindo umas com as outras e com as paredes dos recipientes que as continham, também ao acaso, poderiam explicar as regras que governavam o comportamento dos gases, elaboradas durante os dois séculos precedentes.

Em qualquer amostra de gás, os átomos e moléculas constituintes movem-se a velocidades diversas. A velocidade média, no entanto, é maior nos gases quentes do que nos frios. Na realidade, o que chamamos de temperatura é equivalente à velocidade média das partículas constituintes de um gás. (Isso também se aplica, por extensão, a líquidos e sólidos, exceto que, nestes, as partículas constituintes vibram, em lugar de se moverem em bloco.)

A fim de simplificar o argumento que se segue, suponhamos que em qualquer amostra de matéria, a uma dada temperatura, todas as partículas que a compõem se movem (ou vibram) à velocidade média característica de tal temperatura.

Imaginemos um corpo (gasoso, líquido ou sólido) quente posto em contato com um corpo frio. As partículas das bordas do corpo quente colidirão com as das bordas do corpo frio. Uma partícula rápida do corpo quente colidirá com uma lenta do corpo frio e as duas ricochetearão. O momento total das duas partículas permanece o mesmo, mas pode haver transferência de momento de um para o outro corpo. Em outras palavras, as duas partículas podem se afastar uma da outra com velocidades diferentes daquelas com que se aproximaram.

É possível que a partícula rápida transfira um pouco de seu momento para a lenta, de modo que a primeira mover-se-á mais devagar, após o ricochete, enquanto a segunda, após ele, mover-se-á mais depressa. É também possível que a partícula lenta passe um pouco de seu momento para a rápida, de forma que a lenta ricocheteie ainda mais devagar e a rápida, ainda mais depressa.

A determinação da direção em que ocorrerá a transferência de momento é questão de probabilidade, mas é provável que o momento se transfira da partícula rápida para a lenta e que a primeira ricocheteie mais devagar, o oposto acontecendo com a segunda.

Por quê? Porque o número de maneiras pelas quais o momento pode se transferir da partícula rápida para a lenta é maior que o número de maneiras pelas quais o momento pode se transferir da partícula lenta para a rápida. Se todas as diferentes maneiras têm a mesma probabilidade de ocorrência, então há mais chance de uma das várias possíveis transferências da rápida para a lenta ser adotada, em vez de uma das poucas possíveis transferências da lenta para a rápida.

Para entender por que é assim, imaginemos cinqüenta fichas de pôquer idênticas, numeradas de 1 a 50, dentro de um pote. Tiremos uma ao acaso e suponhamos ser ela a de número 49. Este é um número alto e representa uma partícula que se move rapidamente. Coloquemos a ficha 49 de volta no pote (isso representa uma colisão) e tiremos outra ficha ao acaso (isso representa a velocidade no ricochete). Poderíamos tornar a pegar a 49 e ricochetear na mesma velocidade com que a fizemos colidir. Ou poderíamos pegar a de número 50 e ricochetear ainda mais rapidamente do que quando a fizemos colidir. *Ou* poderíamos pegar qualquer número entre 1 e 48, 48 diferentes escolhas, e em cada caso ricochetear mais vagarosamente do que quando a fizemos colidir. Se tivermos primeiramente pegado a 49, sua chance de ricochetear com maior velocidade é de um em cinqüenta. A chance de ricochetear mais

lentamente é de 48 em cinqüenta.

A situação inverter-se-ia se tivéssemos pegado inicialmente a ficha número 2. Esta representaria uma velocidade bem baixa. Se a jogássemos de volta no pote e pegássemos outra, teríamos apenas uma chance em cinqüenta de pegar a de número 1 e ricochetear ainda mais lentamente do que quando a fizemos colidir, enquanto teríamos 48 chances em cinqüenta de pegar qualquer número de 3 a 50 e ricochetear tnais depressa do que quando a fizemos colidir.

Imaginemos agora dez pessoas pegando a ficha 49 de dentro de dez potes separados e cada uma delas atirando-a de volta para tentar melhor sorte. A probabilidade de todas pegarem o número 50 e ricochetearem mais rapidamente é de cerca de um em 100 milhões de bilhões. Por outro lado, a probabilidade de as dez pessoas pegarem fichas representantes de ricochetes com menor velocidade é de dois em três.

O inverso ocorreria se imaginássemos dez pessoas pegando o número 2 e tentando melhor sorte.

Nem é necessário que todas peguem o mesmo número. Digamos que um grande número de pessoas pegue fichas e que elas obtenham todos os tipos de números, mas que a média seja bastante alta. Se tentarem de novo, a média tenderá a ser mais baixa. Quanto mais pessoas presentes, mais certeza de que a média será menor.

O mesmo é válido para muitas pessoas pegando fichas e obtendo uma média bastante baixa. A segunda chance provavelmente elevará a média.

Quanto mais pessoas presentes, maior a probabilidade de a média ser aumentada.

Em qualquer corpo grande o suficiente para ser experimentado em laboratório, o número de átomos ou moléculas não é dez ou cinqüenta ou até 1 milhão, mas bilhões de trilhões. Se esses bilhões de trilhões de partículas num corpo quente têm uma velocidade média alta e se os bilhões de trilhões de partículas num corpo frio têm uma velocidade média baixa, então é tremendamente provável que colisões ao acaso entre as muitíssimas delas diminuam a média das velocidades das partículas no corpo quente e elevem a média no corpo frio.

Uma vez atingida a velocidade média das partículas em ambos os corpos, o momento está sujeito a se transferir para qualquer direção.

Partículas individuais podem agora moverse mais rápido ou mais devagar, mas a média de velocidade (e, portanto, de temperatura) continuará a mesma.

Isso responde à nossa pergunta sobre o por quê de o calor fluir de um corpo quente para um frio e de ambos alcançarem a mesma temperatura média e de a manterem. É simplesmente uma questão de leis de probabilidade, funcionamento natural do acaso.

Aliás, essa é a razão do contínuo crescimento de entropia no universo.

Existem tantas, tantas formas mais a experimentar mudanças que equilibram a distribuição de energia do que aquelas que reforçam seu desequilíbrio, que a probabilidade de as mudanças se efetuarem na direção do aumento de entropia através só do acaso é incrivelmente alta.

Em outras palavras, a segunda lei da termodinâmica não descreve o que *deve* acontecer, mas apenas o que é *irresistivelmente provável* que aconteça. Há uma importante diferença aí. Se a

entropia *deve* aumentar, então não pode *jamais* diminuir. Se o aumento da entropia é só irresistivelmente provável, então é. irresistivelmente improvável que diminua a entropia, mas, em conseqüência, se esperarmos o suficiente, mesmo o irresistivelmente improvável pode chegar a acontecer. Na verdade, se esperarmos o suficiente, *deverá* chegar a acontecer.

Imaginemos o universo num estado de morte pelo calor. Poderíamos imaginá-lo como um vasto mar tridimensional de partículas, talvez sem limite, envolvido num perpétuo jogo de colisão e ricochete, com partículas individuais se movendo mais depressa ou mais devagar, mas a média permanecendo a mesma.

De vez em quando, uma pequena porção de partículas vizinhas desenvolve uma velocidade média um tanto alta entre si, enquanto outra porção, um pouco distante, desenvolve uma velocidade média um tanto baixa. A média geral no universo não se modifica, mas agora temos uma porção de entropia baixa e uma pequena quantidade de trabalho se faz possível até que essa porção se equilibre, o que acontecerá após um certo tempo.

Mais espaçadamente, há um desequilíbrio maior produzido por essas colisões ao acaso e ainda mais espaçadamente, maior desequilíbrio ainda.

Podemos imaginar que muito espaçadamente (uma vez em 1 trilhão de trilhões de anos) é produzido um desequilíbrio tão imenso que surge uma porção do tamanho de um universo com entropia muito baixa. O período para que uma porção de baixa entropia de tal tamanho se equilibre de novo é tremendamente longo — 1 trilhão de anos ou mais.

Talvez seja isso o que nos aconteceu. No mar sem limites de morte pelo calor, um universo com baixa entropia surgiu repentinamente, provocado pelas realizações do acaso e, no processo de aumento de sua entropia e novo declínio, diferenciou-se em galáxias, estrelas e planetas, originou a vida e a inteligência e cá estamos analisando tudo isso.

Assim, a catástrofe final da morte pelo calor pode ser seguida pela regeneração, exatamente como descrito no Apocalipse e no Ragnarok.

Pelo fato de a primeira lei da termodinâmica dar a impressão de ser absoluta e a segunda, apenas estatística, resta a possibilidade de uma sucessão infinita de universos, separados um do outro por inimagináveis eras, exceto que inexistirá quem ou o que meça o tempo, e, na ausência do crescimento de entropia, uma forma de medi-la, mesmo se houver instrumentos e mentes pesquisadoras. Poderíamos, então, dizer que a sucessão infinita de universos é separada por intervalos eternos.

E como isso afeta a lenda da história humana?

Suponhamos que os seres humanos conseguiram de algum modo sobreviver a todas as outras possíveis catástrofes e que nossa espécie ainda viva daqui a trilhões de anos quando a morte pelo calor chegar. A taxa de crescimento da entropia cai uniformemente à medida em que se aproxima a morte pelo calor e porções de comparativamente baixa entropia (porções pequenas em volume em comparação ao universo, mas muito grandes na escala humana) subsistiriam aqui e ali.

Se aceitarmos que a tecnologia humana avançou mais ou menos constantemente no último trilhão de anos, os seres humanos deveriam ser capazes de tirar vantagem dessas porções de baixa entropia, descobrindo-as e explorando-as como agora fazemos com minas de ouro.

Essas porções poderiam continuar a decair e sustentar a humanidade no processo por bilhões de anos. Realmente, os seres humanos bem que poderiam descobrir novas porções de baixa entropia à medida em que se formam ocasionalmente no mar da morte pelo calor e explorá-las também, continuando dessa forma a existir indefinidamente, embora sob condições restritas. Então, finalmente, o acaso apresentará uma porção de baixa entropia do tamanho do universo e os seres humanos serão capazes de renovar uma expansão relativamente ilimitada.

Em termos extremos, os seres humanos podem fazer o que uma vez descrevi em meu conto de ficção científica “The last question”, publicado pela primeira vez em 1956, e tentar descobrir métodos de realizar uma diminuição maciça da entropia, evitando assim a morte pelo calor ou deliberadamente renovando o universo, se a morte pelo calor já paira sobre nós. Dessa maneira, a humanidade poderia se tornar essencialmente imortal.

A questão é, contudo, se os seres humanos ainda existirão num tempo em que a morte pelo calor se tornar um problema ou se alguma catástrofe prematura de outro tipo seguramente terá acabado conosco.

Essa é a questão e a resposta a ela procurará ser dada ao longo deste livro.

3 — O FIM DO UNIVERSO

AS GALÁXIAS

Até aqui, temos discutido a maneira pela qual o universo deveria se comportar em função das leis da termodinâmica. Faz-se necessário, agora, observarmos o universo propriamente dito, para verificarmos se isso resultaria em uma alteração de nossas conclusões. Para tanto, retrocedamos e tentemos visualizar os conteúdos do universo como um todo, de forma global — algo que só se tornou possível no século XX.

Através da história, nossas hipóteses relativas ao universo sempre se restringiram ao que podíamos ver, o que é pouco. Inicialmente, o universo era meramente uma porção da superfície terrestre, sendo o céu e seus conteúdos um simples abrigo para ele.

Os gregos foram os primeiros a reconhecer que a Terra era esférica e a ter uma noção de suas dimensões. Reconheceram que o Sol e a Lua e os planetas cruzavam o céu independentemente de outros objetos e atribuíram a todos a forma esférica e transparente. Todas as estrelas se encontravam agrupadas dentro de uma esfera ainda maior e eram consideradas como pano de fundo. Mesmo depois que Copérnico afirmou que a Terra gira em torno do Sol, ou que o advento do telescópio revelou detalhes interessantes sobre os planetas, a consciência humana não extrapolou o sistema solar. Ainda no século XVIII as estrelas eram pouco mais que pano de fundo. Foi em 1838 que o astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) determinou a distância de uma estrela; estava estabelecida a escala de distâncias interestelares.

A luz viaja a uma velocidade de aproximadamente 300 000 quilômetros por segundo; num ano, viajará 9,44 trilhões de quilômetros. Essa distância eqüivale a 1 ano-luz; pois bem, a estrela mais próxima fica a 4,4 anos-luz daqui.

A distância média entre as estrelas nas nossas vizinhanças é de 7,6 anos-luz.

Não nos parece que as estrelas se espalhem igualmente por todas as direções. Em uma faixa circular no céu há tantas estrelas que se forma um anel luminoso chamado “via-láctea”. Por outro lado, em outras regiões do céu, há poucas estrelas.

No século XIX, esclareceu-se, completamente, que as estrelas se distribuíam em forma de uma lente — mais larga que grossa e mais grossa no meio do que nas bordas. Agora sabemos que o aglomerado de estrelas em forma de lente mede 100 000 anos-luz de extremo a extremo e que contém aproximadamente 300 bilhões de estrelas, com uma massa média que se equipara à metade da do Sol. Esse aglomerado se chama galáxia — que vem da expressão grega para via-láctea.

No decorrer do século XIX, concluiu-se que o universo se resumia na galáxia. Não parecia haver qualquer coisa no céu que estivesse fora dela, com exceção das nuvens de Magalhães.

Estas eram objetos localizados no céu austral (não-visíveis da zona temperada norte) e pareciam fragmentos da via-láctea. Acabou-se descobrindo serem elas pequenos aglomerados de estrelas, cada um destes contendo apenas alguns bilhões, que se colocavam à margem da galáxia. Poderiam ser consideradas galáxias-satélites da galáxia.

Outro objeto misterioso era a nebulosa de Andrômeda, visível a olho nu apenas como um objeto felpudo e opaco. Alguns astrônomos pensavam tratar-se de uma nuvem gasosa brilhante que fosse parte de nossa própria galáxia — mas, se assim era, por que não se viam em seu interior estrelas que servissem de fonte para a sua luminosidade? (Viam-se estrelas no interior de outras nuvens gasosas brilhantes na galáxia.) Além disso, a natureza de sua luminosidade parecia ser a da luz estelar, e não a de um gás luminoso. Finalmente, as "novas" (estrelas de brilho repentino) ali apareciam com surpreendente freqüência, novas habitualmente invisíveis dado o seu parco brilho.

Havia bom motivo para se argumentar que a nebulosa de Andrômeda era um aglomerado de estrelas, intensa como a galáxia, cuja distância era tão grande que nenhuma de suas estrelas poderia ser percebida — a menos que uma delas brilhasse a ponto de ser vista. O paladino dessa teoria foi o astrônomo americano Heber Doust Curtis (1872-1942), que desenvolveu um estudo das novas da nebulosa de Andrômeda em 1917 e 1918.

Enquanto isso, em 1917, um novo telescópio com um refletor parabólico assimétrico de 2,54 metros (o maior e melhor do mundo até então) foi instalado no monte Wilson, perto de Pasadena, na Califórnia.

Utilizando-se do telescópio, o astrônomo americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) finalmente conseguiu localizar estrelas distintas nas proximidades da nebulosa de Andrômeda. Era indubitavelmente uma aglomeração estelar do tamanho de nossa galáxia e, desde então, tem sido chamada de galáxia de Andrômeda.

Hoje sabemos que a galáxia de Andrômeda fica a 2,3 milhões de anos-luz de nosso planeta, e que há inúmeras outras galáxias que se estendem em todas as direções por mais de 10 bilhões de anos-luz. Portanto, se considerarmos o universo como um todo, teremos que considerá-lo um enorme conglomerado de galáxias distribuídas de forma mais ou menos equilibrada no espaço, sendo que cada galáxia deve conter de bilhões a trilhões de estrelas.

As estrelas de uma *galáxia* se mantêm unidas em virtude da sua atração gravitacional mútua, e cada galáxia gira, ao passo que as várias estrelas orbitam em torno do centro galáctico. Graças à gravidade, as galáxias se conservam intatas e podem manter sua identidade por muitos bilhões de anos.

Além disso, é comum a formação de grupos ou constelações de galáxias vizinhas, nos quais todas se mantêm próximas graças à atração gravitacional mútua. Por exemplo, nossa própria galáxia de Andrômeda, as duas nuvens de Magalhães e mais de vinte outras pequenas galáxias formam o "grupo local". Dentre os outros grupamentos galácticos que visualizamos no céu, alguns são muito maiores. Há um agrupamento na constelação Cabeleira de Berenice, que dista 120 milhões de anos-luz daqui, formado por 10 000 galáxias distintas, aproximadamente.

Talvez o universo seja formado por, aproximadamente, 1 bilhão de agrupamentos galácticos, cada um com cem membros em média.

O UNIVERSO EM EXPANSÃO

Embora as galáxias estejam extremamente distantes, coisas muito interessantes podem ser aprendidas sobre elas pela luz que chega até nós.

A luz visível que nos atinge vinda de qualquer objeto incandescente, seja ele um vasto aglomerado de galáxias ou uma fogueira, é formada por uma variedade de comprimentos de onda, desde os mais curtos, que atingem nossa retina, até os mais longos. Existem instrumentos que podem separar esses comprimentos de onda em faixas seqüenciais (dos mais curtos até os mais longos). Essas faixas são chamadas "espectros".

Os comprimentos de onda impressionam nossos olhos de modo a serem interpretados como cores. A luz visível do mais curto comprimento de onda nos aparece na cor violeta. Conforme os comprimentos de onda aumentam, vemos, respectivamente, o azul, o verde, o amarelo, o laranja e o vermelho. Esse é o conhecido arco-íris — de fato, o que vemos no céu após a chuva é um espectro natural.

Quando a luz do sol ou de outras estrelas se espalha em um espectro, alguns comprimentos de onda de luz estão faltando. Estes foram absorvidos pelos gases frios da atmosfera superior do Sol (ou das outras estrelas). Tais comprimentos de onda aparecem como traços escuros que cruzam os feixes coloridos do espectro.

Cada tipo de átomo da atmosfera de uma estrela absorve comprimentos de onda característicos. A localização no espectro dos comprimentos de característicos de cada tipo de átomo pode ser precisamente determinada em laboratório; pode-se obter informação sobre a composição química de uma estrela a partir dos traços escuros de seu espectro.

Em 1842, o físico austríaco Christian Johann Doppler (1803-53) demonstrou que, quando um corpo emite sons de determinado comprimento de onda, este aumenta caso o corpo se aproxime. Em 1,848, o físico francês Armand H. L. Fizeau (1819-96) aplicou esse princípio à luz.

De acordo com efeito Doppler-Fizeau, todos os comprimentos de onda da luz emitida por uma estrela que se afasta são maiores do que os emitidos por um objeto estacionário. Isso inclui os traços escuros que são desviados para o extremo vermelho do espectro (o "desvio vermelho"), em comparação com sua posição habitual. No caso de uma estrela que se aproxima, os comprimentos de onda, inclusive os traços escuros, desviam-se para o extremo violeta do espectro.

Se determinarmos a posição de certos traços escuros no espectro de uma estrela específica, não apenas poderemos dizer se a estrela se aproxima ou se afasta de nós, como também a velocidade em que isso ocorre — pois quanto mais rápido o movimento de aproximação ou afastamento, maior o desvio dos traços escuros. Esse desvio foi utilizado pela primeira vez em 1868, quando o astrônomo inglês William Huggins (1824-1910) detectou um desvio vermelho no espectro da estrela Sírius e concluiu que ela se afastava de nós com velocidade

moderada. Assim, outras estrelas foram examinadas desta maneira, chegando-se à conclusão de que algumas se aproximavam enquanto outras se afastavam de nós — o que era de se esperar, já que a galáxia, como um todo, não se movia em nenhum dos dois sentidos.

Em 1912, o astrônomo americano Vesto Melvin Slipher (1875-1969) iniciou um projeto de determinação do desvio presente em várias galáxias (mesmo antes de as nuvens luminosas serem reconhecidas como galáxias).

Poder-se-ia supor que as próprias galáxias, assim como as estrelas, apresentassem afastamento e aproximação; na verdade, isso ocorre com as galáxias de nosso grupo local. Por exemplo, a primeira galáxia estudada por Slipher foi a de Andrômeda, a qual se aproximava da nossa numa velocidade de cerca de 50 quilômetros por segundo.

Porém, as galáxias externas ao nosso grupo local apresentavam uma intricada uniformidade. Slipher e seus seguidores descobriram que em todos os casos a luz das galáxias apresentava um desvio vermelho. Todas se afastavam de nós, e com velocidades bem altas. Enquanto as estrelas de nossa galáxia se moviam em relação umas às outras com velocidades de dezenas de quilômetros por segundo, mesmo as galáxias externas mais próximas ao nosso grupo se afastavam de nós com velocidades de algumas centenas de quilômetros por segundo. Além do mais, quanto mais fraca (e, presumivelmente, mais distante) a galáxia, maior a velocidade de afastamento de nós.

Em 1929, Hubble (que, cinco anos antes havia detectado estrelas na galáxia de Andrômeda e determinado sua natureza) demonstrou que a velocidade de afastamento era proporcional à distância. Se a galáxia A ficava três vezes mais distante de nós do que a galáxia B, então a velocidade de afastamento da galáxia A era três vezes superior à da galáxia B. Tão logo isso foi aceito, bastava medir o desvio vermelho para que a distância de certa galáxia fosse determinada.

Mas por que as galáxias deveriam se afastar de nós?

Para explicar esse afastamento universal, sem presunção, foi necessário aceitar como verdadeiro o fato de que o universo estava em expansão, e que a distância entre agrupamentos galácticos vizinhos aumentava constantemente. Se era assim, qualquer posto de observação instalado em qualquer agrupamento galáctico acusaria que todos os outros agrupamentos pareceriam afastar-se com velocidade e distância crescentes.

Mas por que o universo estaria se expandindo?

Se pudéssemos conceber um retrocesso no tempo (se pudéssemos voltar a filmagem do universo em expansão), os agrupamentos galácticos pareceriam aproximar-se e acabariam por aglutínar-se.

O astrônomo belga Georges Lemaítre (1894-1966) sugeriu, em 1927, que há muito tempo, numa determinada época, toda a matéria do universo encontrava-se compacta em um único corpo a que ele chamou de "ovo cósmico". Este explodiu, e as galáxias se formaram a partir dos fragmentos da explosão. O universo se expande devido à força daquela explosão original.

O físico russo-americano George Gamow (1904-68) deu o nome de "grande explosão" a essa explosão primordial, nome utilizado até hoje. Hoje, os astrônomos crêem que a grande explosão ocorreu há cerca de 15 bilhões de anos. A entropia do ovo cósmico era baixa e, no

momento da explosão, ela começou a aumentar; desde então, o universo vem se desgastando, como foi descrito no capítulo anterior.

Será que houve mesmo tamanha explosão?

Quanto mais fundo penetramos nas vastas distâncias do universo, mais retrocedemos no tempo. Afinal, essa é uma viagem que demora anos-luz! Se pudéssemos ver algo que está a 1 bilhão de anos-luz de nós, a luz vista teria levado 1 bilhão de anos para nos alcançar e o objeto visto seria como era há 1 bilhão de anos. Se pudéssemos ver algo a uma distância de 15 bilhões de anos-luz, vê-lo-íamos como era há 15 bilhões de anos, na época da grande explosão.

Em 1965, A. A. Penzias e R. W. Wilson, dos Bell Telephone Laboratories, provaram que havia um pálido brilho de ondas de rádio vindo uniformemente de cada parte do céu. A origem dessas ondas de rádio parece ser a radiação da grande explosão, alcançandonos através de 15 bilhões de anos-luz no espaço. Essa descoberta foi aceita como uma forte evidência a favor da hipótese da grande explosão.

O universo estará em eterna expansão, como resultado da enorme explosão primordial? Discutirei essa possibilidade mais adiante; por enquanto, suponhamos que o universo realmente se expandirá para sempre.

Nesse caso, como isso nos afetará? Será que a infinita expansão do universo constitui uma catástrofe?

Visualmente, pelo menos, não. Sem exceção, tudo o que vemos no céu a olho nu, incluindo as nuvens de Magalhães e a galáxia de Andrômeda, é parte do grupo local. Todas as partes do grupo local são presas entre si pela força gravitacional e não estão participando da expansão geral.

Assim, embora o universo possa se expandir para sempre, nossa visão dos céus a olho nu não mudará por causa disso. Haverá outras mudanças por outras razões, mas nosso grupo local, contendo mais de meio trilhão de estrelas, permanecerá intato.

À medida em que o universo se expandir, os astrônomos terão mais dificuldade em localizar as galáxias fora do grupo local e, conseqüentemente, acabarão por perdê-las de vista. Todos os aglomerados galácticos afastar-se-ão a distâncias e com velocidades tais que não poderão nos afetar de nenhuma forma. Nosso universo consistirá, então, unicamente no grupo local e terá apenas um cinqüenta bilionésimo do tamanho atual.

Esse encolhimento no tamanho de nosso universo constituir-se-ia numa catástrofe? Não diretamente, talvez, mas afetaria nossa capacidade de lidar com a morte pelo calor.

Um universo menor teria menos probabilidade de formar uma grande área de baixa entropia e nunca poderia — por processos aleatórios — formar o tipo de ovo cósmico que originou nosso universo. Não existiria massa suficiente. Fazendo uma analogia, haveria muito menos chances de se encontrar uma mina de ouro se só escavássemos em nosso quintal do que se pudéssemos escavar em qualquer área sobre a superfície terrestre.

Assim, a expansão do universo diminuí apreciavelmente a possibilidade de a espécie humana sobreviver à morte pelo calor — se puder chegar até lá. De fato, a tentação de predizer que não chegará é bem grande; a combinação da expansão infinita e a morte pelo calor seriam

grandes demais para a espécie humana superar, mesmo com um alto grau de otimismo na interpretação dos fatos.

Mas isso ainda não é tudo. É possível que a recessão dos aglomerados galácticos altere as propriedades do universo de modo a produzir uma catástrofe mais iminente que a incapacidade de sobreviver à morte pelo calor?

Alguns físicos especulam sobre se a gravitação é produto de toda a massa no universo trabalhando em conjunto, em lugar de meramente derivar de corpos individuais. Quanto mais a massa total do universo se concentra num volume menor, mais intenso o campo gravitacional produzido por qualquer corpo. Da mesma forma, quanto mais a massa se dissipa em volumes cada vez maiores, mais fraca a força gravitacional produzida por qualquer corpo.

Em virtude de o universo estar se expandindo, a massa do universo está se espalhando sobre um volume crescente, e a intensidade dos campos gravitacionais individuais produzidos pelos vários corpos do universo deveria, segundo essa linha de pensamento, estar decrescendo vagarosamente. Isso foi inicialmente sugerido em 1937, pelo físico inglês Paul A. M. Dirac (1902-).

A diminuição seria bem vagarosa e seus efeitos não seriam notados pelos leigos por muitos milhões de anos, mas gradualmente os efeitos se somariam. O Sol, por exemplo, mantém-se compacto em razào de seu poderoso campo gravitacional. À medida em que a força gravitacional se enfraquecesse, o Sol — e todas as outras estrelas — expandir-se-ia e resfriaria lentamente. A ligação entre o Sol e a Terra se enfraqueceria; conseqüentemente, a órbita terrestre faria um movimento espiral de expansão. A própria Terra, com sua gravidade enfraquecida, expandir-se-ia, e assim por diante. Assim, haveria a possibilidade de nos defrontarmos com um futuro em que a temperatura da Terra, graças ao Sol resfriado e mais distante, poderia cair e nos enregelar. Este e outros efeitos poderiam trazer o fim antes mesmo de alcançarmos a morte pelo calor.

Até agora, entretanto, os cientistas não conseguiram encontrar qualquer sinal seguro de que a gravitação está se enfraquecendo com o passar do tempo ou que, ao longo da história da Terra, ela já tenha sido significativamente mais forte.

Talvez seja prematuro falar sobre isso; talvez devêssemos esperar até que maiores evidências nos permitissem estar seguros de que a noção do enfraquecimento de uma força gravitacional é insustentável. Se assim fosse, e a Terra estivesse para se resfriar no futuro, então necessariamente deveria ter sido mais quente no passado, mas não há sinais disso. Então, também, os campos gravitacionais em geral seriam mais e mais fortes quanto mais nos movêssemos em direção ao passado e, na época do ovo cósmico, eles seriam tão fortes que, parece-me, o ovo cósmico jamais poderia ter explodido e atirado fragmentos para fora, contrariamente à força daquele campo gravitacional tão intenso[9].

Até prova em contrário, então, parece legítimo supor que a infinita expansão do universo não afetará as propriedades de nossa própria porção do universo. A expansão não é, assim, capaz de produzir uma *catástrofe* anterior ao tempo em que seria improvável que a humanidade escapasse à morte pelo calor.

O UNIVERSO EM CONTRAÇÃO

Mas esperemos. Como podemos ter certeza de que o universo sempre se expandirá só porque agora o faz?

Suponhamos, por exemplo, que estamos observando uma bola que foi jogada para cima. Ela ascende regularmente, mas com velocidade regularmente decrescente. Sabemos que sua velocidade de subida acabará por reduzir-se a zero, e então ela começará a descer, cada vez mais depressa.

A razão disso é que a força gravitacional da Terra atrai a bola para baixo, primeiro diminuindo seu impulso de subida até anulá-lo, e depois aumentando o impulso de descida. Se a bola tivesse sido jogada para cima com um impulso maior, demoraria mais para a força gravitacional contrabalançar aquele impulso inicial. A bola conseguiria chegar a uma altura maior antes de parar e começar a cair.

Imaginamos que, qualquer que seja a velocidade com que atirarmos a bola para cima, ela parará e retornará sob a inexorável força da gravidade.

Há até o adágio: “Tudo o que sobe, desce”. Isso seria verdadeiro se a força gravitacional fosse sempre constante, mas não é.

A força gravitacional da Terra decresce na razão do quadrado da distância do centro da Terra. Um objeto na superfície terrestre está a cerca de 6 400 quilômetros de seu centro. Um objeto a 6 400 quilômetros acima da superfície estaria duas vezes mais longe do centro e sob apenas um quarto da força gravitacional na superfície.

Pode-se atirar um objeto para cima com velocidade tão grande que, à medida em que ele sobe, a força gravitacional decresce tão rapidamente que nunca é forte o suficiente para reduzir aquela velocidade a zero. Sob essas circunstâncias, o objeto não cai, mas deixa a Terra para sempre. A velocidade mínima para que isso ocorra *é* a “velocidade de escape”, que, para a Terra, é de 11,23 quilômetros por segundo.

Pode-se dizer que o universo também tem uma velocidade de escape.

Os aglomerados galácticos atraem-se gravitacionalmente; porém, como resultado da força da grande explosão, estão se afastando em direção oposta à força da gravidade. Isso significa que podemos contar com a força gravitacional para retardar a expansão, pouco a pouco, e possivelmente cessá-la. Uma vez ocorrido isso, os aglomerados galácticos, sob a força de suas próprias atrações gravitacionais, começarão a se aproximar e surgirá um universo em contração. À medida em que os aglomerados galácticos se separam, contudo, a força gravitacional de cada um sobre seus vizinhos diminui. Se a expansão é rápida o suficiente, a força decresce a tal ponto que jamais poderá pôr um fim à expansão. O grau de expansão mínimo que se requer para impedir essa parada é a velocidade de escape para o universo.

Se os aglomerados galácticos estiverem se afastando uns dos outros a uma velocidade maior que a de escape, continuarão para sempre a se separar e o universo se expandirá até atingir a morte pelo calor. Será um “universo aberto”, do tipo que estávamos discutindo antes neste

capítulo. Se os aglomerados galácticos estiverem se separando a uma velocidade menor que a de escape, a expansão conseqüentemente cessará. Uma contração terá início e o universo retomará a forma do ovo cósmico, que explodirá numa nova grande explosão. Será um "universo fechado" (às vezes chamado de "universo oscilante").

A questão é, então, saber se o universo está ou não se expandindo a um grau além da velocidade de escape. Temos conhecimento do grau da expansão; se soubéssemos também o valor da velocidade de escape, teríamos a resposta.

A velocidade de escape depende da atração gravitacional entre os aglomerados galácticos, e isso depende da massa de cada aglomerado e da distância entre eles. Obviamente, diferentes aglomerados apresentam tamanhos diversos e certos aglomerados vizinhos estão mais separados do que outros.

O que podemos fazer, por conseguinte, é imaginar toda a matéria em todos os aglomerados galácticos distribuída uniformemente sobre o universo.

Poderíamos então determinar a densidade média da matéria no universo.

Quanto mais alta a densidade média da matéria, maior a velocidade de escape, e é mais provável que os aglomerados galácticos não estejam se separando uns dos outros tão rápido a ponto de escaparem, e que, mais cedo ou mais tarde, a expansão venha a cessar e transformar-se em contração.

Pelo que sabemos atualmente, se a densidade média do universo fosse tal que um volume igual ao de uma sala ampla pudesse conter uma quantidade de matéria equivalente a quatrocentos átomos de hidrogênio, isso representaria uma densidade alta o bastante para manter o universo circunscrito ao grau atual de expansão.

Contudo, sabemos que a densidade média real do universo *é* somente um centésimo dessa quantidade. A partir de certas evidências indiretas, inclusive a quantidade de deutério (uma variedade pesada de hidrogênio) no universo, a maioria dos astrônomos está convencida de que a densidade média *não* pode ser muito maior que isso. Se assim é, a força gravitacional que os aglomerados galácticos exercem uns sobre os outros é demasiado pequena para deter a expansão do universo. Este é, portanto, aberto, e a expansão prosseguirá até a morte pelo calor.

Não temos, porém, certeza total da densidade média do universo. A densidade é igual à massa multiplicada por volume; apesar de conhecermos razoavelmente o volume de uma dada seção do universo, não temos tanta certeza a respeito da massa dessa seção.

Sabemos como calcular as massas das galáxias, mas não como medir a massa da fina camada de estrelas, poeira e gás dispersos nas extremidades longínquas das galáxias e entre as próprias galáxias. Talvez estejamos subestimando demais a massa desse material não-galáctico.

De fato, em 1977, astrônomos de Harvard, estudando radiografias espaciais, relataram ter obtido indicações de que alguns aglomerados galácticos são rodeados de auréolas de estrelas e poeira que possuem de cinco a dez vezes a massa das próprias galáxias. Tais auréolas aumentariam substancialmente a massa do universo, colocando em dúvida a possibilidade de um universo aberto.

Os próprios aglomerados indicam que a possibilidade de uma massa de universo muito maior deve ser considerada seriamente. Em muitos casos, quando a massa dos aglomerados é calculada com base nas massas das galáxias componentes, ocorre que a interação gravitacional geral resulta insuficiente para manter o aglomerado coeso. As galáxias individuais deveriam separar-se e dispersar-se por se movimentarem a um grau mais elevado que a aparente velocidade de escape do aglomerado. Mesmo assim, os aglomerados galácticos parecem estar gravitacionalmente unidos. A conclusão natural é de que os astrônomos estão fazendo estimativas falhas da massa total dos aglomerados — há uma massa externa às próprias galáxias que não está sendo levada em conta.

Resumindo: por um lado, há mais evidências que confirmam o fato de o universo ser aberto; por outro, as probabilidades de isso ser verdadeiro estão diminuindo. Cresce a possibilidade de haver uma quantidade de massa tal que justifique o fato de o universo ser fechado e oscilante, ainda que pequeno[10].

Tem sentido o universo se contrair? Isso significaria que todas as galáxias se agregariam e, no final, retomariam a formação do ovo cósmico, de baixa entropia. Não seria isso uma contradição à segunda lei da termodinâmica? Há contradições, seguramente, mas não devemos encarar a possibilidade como um desafio.

A segunda lei da termodinâmica, como foi dito antes, é simplesmente a generalização da experiência comum. Observamos que, ao estudarmos o universo sob quaisquer condições, a segunda lei jamais é violada — donde concluímos que ela não pode ser violada.

Tal conclusão pode ir longe demais. Afinal de contas, por mais que variemos as condições experimentais e de observação, há algo que não podemos variar: toda e qualquer observação que façamos, da própria Terra ou da mais longínqua galáxia que detectemos, e todas as condições experimentais que estabeleçamos — todas, sem exceção — ocorrem no universo em expansão. Portanto, a afirmação mais ampla que podemos fazer é que a segunda lei da termodinâmica nunca pode ser violada num universo em expansão.

Com base em nossas observações e experimentos, nada podemos dizer da relação entre entropia e o universo em contração. Podemos supor que, como a expansão do universo se abranda, o impulso de aumento da entropia se torna menos forte; quando a compressão do universo se inicia, o impulso de diminuição da entropia começa a se fortalecer.

Poderíamos supor, então, que, num universo fechado, haveria um aumento de entropia durante o estágio de expansão e, provavelmente antes de se chegar ao estágio da morte pelo calor, haveria uma reviravolta e uma conseqüente diminuição da entropia durante o estágio de contração. Como num relógio bem cuidado, então é dada corda ao universo antes que ele "pare"; deste modo, seu funcionamento prossegue (tanto quanto podemos afirmar) indefinidamente. Mas, com o desenrolar cíclico do universo, sem jamais ocorrer a morte pelo calor, podemos estar certos de que sempre haverá vida? Não haveria períodos, neste ciclo, em que a vida seria impossível?

Por exemplo, parece inevitável que a explosão do ovo cósmico seja prejudicial à vida. O universo inteiro (constituído unicamente do ovo cósmico), no instante da explosão, atinge uma temperatura de muitos trilhões de graus. Somente algum tempo após a explosão é que a temperatura esfria, a matéria se forma e se agrupa para constituir as galáxias e os sistemas

planetários; é nessa ocasião que a vida evolui em planetas adequados.

Provavelmente, só depois de 1 bilhão de anos após a explosão original é que as galáxias, as estrelas, os planetas e a própria vida passam a existir no universo. Levando-se em conta que a contração reprisa (inversamente) a história do universo, espera-se que, 1 bilhão de anos antes da formação do ovo cósmico, seja impossível a existência de vida, planetas, estrelas ou galáxias.

Há, portanto, um período de 2 bilhões de anos em cada ciclo, com o ponto de flexão no ovo cósmico, no qual a vida é impossível. Em cada ciclo, após esse período, nova vida pode se formar, mas não terá ligações com a vida do ciclo anterior; esta findar-se-á antes do próximo ovo cósmico e, mais uma vez, não terá ligações com a vida do ciclo seguinte.

Observemos: pode ser que não haja menos de 1 trilhão de estrelas no universo. Todas emitem energia para o universo incessantemente — e assim tem sido há 15 bilhões de anos. Por que toda essa energia não serviu para aquecer todos os corpos frios do universo — assim como o planeta Terra — de modo a incandescê-los e impossibilitar a vida neles?

Há duas razões que explicam isso. Em primeiro lugar, todos os aglomerados galácticos se separam no universo em expansão. Isso significa que a luz que chega a qualquer aglomerado galáctico, a partir de outros, passa por desvios vermelhos em graduações variadas. Assim, quanto maior o comprimento de onda, menor é o conteúdo energético da luz, e o desvio vermelho significa uma diminuição de energia. Portanto, a radiação emitida por todas as galáxias é menos energética do que se pensa.

Em segundo lugar, o espaço ocioso do universo aumenta rapidamente, à medida em que este se expande. De fato, o espaço se avoluma mais rápido do que a energia emitida para preenchê-lo. Portanto, em lugar de se aquecer, o universo está se esfriando desde a explosão original, e sua temperatura geral é apenas de 3 graus acima do zero absoluto.

Logicamente, a situação seria inversa no caso do universo em contração. Todos os aglomerados galácticos estariam se aproximando uns dos outros, o que significaria que a luz incidente sobre qualquer aglomerado galáctico, a partir de outros, estaria sofrendo desvios violeta em graduações variadas e seria mais energética do que é hoje. Neste caso, o espaço ocioso do universo estaria diminuindo rapidamente; a radiação o preencheria mais rápido do que se poderia esperar. O universo em contração ficaria cada vez mais quente e, como disse, a 1 bilhão de anos da formação do ovo cósmico, já não comportaria qualquer forma de vida.

Quanto tempo vai levar até a formação do próximo ovo cósmico?

É impossível dizer. Depende da massa total do universo. Suponhamos que a massa seja suficientemente grande para garantir o universo fechado.

Quanto maior a massa além do mínimo necessário, mais forte o campo gravitacional do universo e mais rápido conduzirá a atual explosão a uma parada e o todo a uma contração que levará à formação do novo ovo cósmico.

Contudo, dada a pequena quantidade de massa que hoje se conhece, parece provável que, se essa massa pode ser aumentada a ponto de garantir um universo fechado, este propósito mal será alcançado. Isso significa que o grau de expansão diminuirá gradualmente e, quando chegar a hora de cessar, os últimos resíduos só desaparecerão vagarosamente sob a tração do

campo gravitacional, que mal comporta essa tarefa, e o universo começará a se contrair extensivamente.

Estamos passando por um período de expansão relativamente rápido, com a duração de apenas algumas dezenas de bilhões de anos; entre uma coisa e outra, haverá um longo período com um universo realmente estático.

Poderíamos supor que o universo sofrerá uma pausa na metade do caminho rumo à morte pelo calor; digamos, dentro de meio trilhão de anos, e meio trilhão de anos antes da formação do novo ovo cósmico. Neste caso, a espécie humana pode escolher entre esperar 1 trilhão de anos pela morte pelo calor, no caso de o universo ser aberto, e 1 trilhão de anos até o próximo ovo cósmico, caso o universo seja fechado.

Ambas parecem ser catástrofes derradeiras, mas, das duas, o ovo cósmico[11] é a mais violenta, ameaçadora, apocalíptica-Ragnarok, e a que mais dificilmente se evitará. A espécie humana pode preferir a primeira, mas temo que aquela a ser enfrentada — caso se viva até lá — é mesmo a segunda.

4 — CONTRAÇÕES ESTELARES

GRAVITAÇÃO

Ao considerarmos as catástrofes alternativas da morte pelo calor e do ovo cósmico, visualizamos o universo como um todo e como se fosse um mar mais ou menos calmo, constituído de matéria esparsa, todo ele ganhando entropia e se expandindo até culminar com a morte pelo calor, ou todo ele perdendo entropia e se contraindo até formar um vo cósmico. Admitimos que todas as suas partes estavam fadadas ao mesmo destino, da mesma forma e ao mesmo tempo.

No entanto, o fato é que o universo não é nem um pouco calmo, a menos que visto à distância e de modo muito abrangente. Visto de perto e detalhadamente, revela-se, na realidade, bastante revolto.

Para começar, o universo contém *pelo menos* 10 bilhões de trilhões de estrelas, e as condições em uma estrela ou na região próxima a ela são bastante diferentes daquelas encontradas a uma certa distância dela. Além disso, em alguns lugares, as estrelas se concentram densamente; em outros, distribuem-se dispersamente; em outros ainda, são virtualmente ausentes.

Desse modo, é bem possível que eventos ocorridos em algumas partes do universo sejam bastante diversos dos ocorridos em outras, e que, por exemplo, enquanto o universo como um todo se expande, partes dele se contraiam. Devemos considerar essa possibilidade, já que essa diferença de comportamento pode conduzir a um outro tipo de catástrofe.

Comecemos por analisar a Terra, formada por aproximadamente 6 trilhões de trilhões de quilos de rochas e metais. A natureza de sua formação se deve em grande parte ao campo gravitacional gerado por toda essa massa.

Desse modo, ao fundir-se pela ação do campo gravitacional, o material constitutivo da Terra foi forçado a ocupar a área mais próxima possível do centro. Cada porção da Terra se dirigia ao centro até que seu caminho era fisicamente bloqueado por outra porção. Finalmente, cada porção da Terra estava tão próxima do centro quanto possível, de modo que o planeta inteiro apresentava energia potencial mínima.

Numa esfera, a distância entre o centro e as várias partes do corpo é, em geral, menor que em qualquer outra forma geométrica; então a Terra é uma esfera. (Também o são o Sol, a Lua e todos os outros astros relativamente grandes, excetuando condições especiais.) Além do mais, a Terra, moldada esfericamente pela gravitação, é firme e compacta. Os átomos que a compõem se encontram em contato. De fato, à medida em que se adentra a crosta terrestre, os átomos se comprimem mais ainda pelo peso das camadas superiores (esse peso representa a força da gravidade).

Mesmo no centro da Terra, contudo, apesar de firmemente comprimidos, os átomos continuam intatos. Por isso, resistem à maior ação da gravidade. A Terra não mais se contrai; mantém-se numa esfera de 12 750 quilômetros de diâmetro — indefinidamente, contanto que não sofra intervenções.

As estrelas, porém, não podem ser consideradas da mesma forma, pois suas massas são de 10 000 a 10 milhões de vezes maiores que a da Terra, o que faz muita diferença.

Tomemos o Sol, por exemplo, que tem uma massa 330 000 vezes maior que a da Terra. Seu campo gravitacional é 330 000 vezes maior; quando o Sol se formou, a intensidade da força que o moldou como esfera era proporcional a isso. Com a ação de força tão intensa, os átomos do centro do Sol se romperam sob o peso colossal das camadas superiores.

Isso ocorre porque os átomos não são nem um pouco análogos a minúsculas bolas de bilhar, como se pensava no século XIX. São, em sua maioria, fofas cápsulas de ondas de elétrons com massa muito pequena, no centro, um núcleo minúsculo que praticamente contém toda a massa. O núcleo tem um diâmetro equivalente a 1/100 000 do do átomo intato. O átomo é mais semelhante a uma bola de pingue-pongue, em cujo centro flutua uma bolinha minúscula e muito densa.

Sob a pressão das camadas superiores do Sol, então, as cápsulas de elétrons dos átomos do centro do Sol se partem e os minúsculos núcleos são liberados. Os núcleos isolados e os fragmentos de cápsula de elétrons são tão menores que os átomos intatos que, sob a própria pressão gravitacional, o Sol poderia encolher até dimensões surpreendentemente pequenas — mas não o faz.

Esse encolhimento não acontece porque o Sol — bem como outras estrelas — é basicamente composto de hidrogênio. O núcleo de hidrogênio no centro do átomo de hidrogênio é uma partícula subatômica chamada "próton", que contém uma carga elétrica positiva. Após o rompimento dos átomos, os prótons soltos podem ser mover livremente e se aproximar muito mais do que quando cada um era envolto por cápsulas de elétrons. De fato, podem não apenas aproximar-se, mas também colidir com grande força, porque a energia da força gravitacional é convertida em calor à medida em que o material do Sol se aglutina, de forma que a temperatura do centro do Sol é de cerca de 15 milhões de graus.

Às vezes, quando colidem, os prótons se unem, em vez de rícochetear, iniciando assim uma "reação nuclear". Nesse processo, alguns prótons perdem a carga elétrica, tornando-se "nêutrons" e, finalmente, forma-se um núcleo composto de dois prótons e dois nêutrons. É o núcleo do átomo de hélio.

O processo (o mesmo da bomba de hidrogênio, mas com poder incomparavelmente maior) produz enorme quantidade de calor, o que faz do Sol uma bola de gás incandescente, e mantém-no assim por muito, muito tempo.

Enquanto a Terra deixa de se contrair ainda mais pela resistência dos átomos intatos, o Sol deixa de fazê-lo pelo efeito de expansão do calor resultante das reações nucleares em seu interior. A diferença reside no fato de que a Terra pode manter indefinidamente seu tamanho se nenhuma intervenção que quebre seus átomos for efetuada. O mesmo não se aplica ao Sol. O tamanho dele depende da contínua produção de calor no centro, que depende de uma contínua série de reações nucleares, as quais, por sua vez, dependem de um contínuo

suprimento de hidrogênio — o combustível para essas reações.

Porém, existe apenas uma quantidade fixa de hidrogênio.

Conseqüentemente, passado certo tempo, o hidrogênio do Sol (ou de qualquer estrela) minguará até um ponto crítico. A taxa de produção das reações nucleares diminuirá; a energia, também. Haverá calor insuficiente para manter o Sol (ou qualquer estrela) distendido e ele começará a se contrair. A contração de uma estrela traz conseqüências gravitacionais importantes.

A força gravitacional entre quaisquer dois objetos aumenta à medida em que a distância entre seus centros decresce; esse aumento é da ordem do quadrado da diferença da distância. Se você está a certa distância da Terra e reduz essa distância pela metade, a força da Terra sobre você aumenta 2 x 2, ou 4 vezes. Se você reduz a distância para 1/16, a força da Terra aumenta 16 x 16, ou 256 vezes.

No presente momento, você está sobre a superfície da Terra. A força gravitacional agindo sobre você depende da massa terrestre, da sua própria massa, e do fato de você estar a 6 378 quilômetros do centro da Terra. Ser-lhe-ia bem difícil modificar significativamente a massa da Terra, e você pode não querer modificar a sua própria massa, mas pode se imaginar modificando sua distância do centro da Terra.

Você pode, por exemplo, aproximar-se mais do centro da Terra, perfurando (mentalmente) a substância da própria Terra. Bem, você pode pensar: a força gravitacional aumenta de acordo com a minha crescente proximidade do centro da Terra.

Não! A força gravitacional só depende da distância do centro do corpo em questão quando se está fora desse corpo.

Só nesse caso é que se pode tratar toda a massa do corpo como se ela estivesse concentrada no centro, no cálculo de forças gravitacionais.

Se você escavar a Terra, só a parte mais central dela o atrairá em direção ao centro. A parte da Terra que está mais afastada do centro do que você não contribui para a força gravitacional. Conseqüentemente, quanto mais você escava a Terra, menor a força gravitacional sobre você. Se você estivesse alcançando o próprio centro da Terra (mentalmente), inexistiria qualquer força em direção ao centro, já que não haveria nada mais próximo do centro para atraí-lo. Você estaria sujeito à gravidade zero.

Suponhamos, no entanto, que a Terra se contraia até ficar só com a metade de seu raio, apesar de reter toda a massa. Se você estivesse numa nave distante, isso não o afetaria. A massa da Terra ainda seria o que era antes, o mesmo acontecendo com sua própria massa e com sua distância do centro da Terra. Independentemente de a Terra se expandir ou contrair, sua força gravitacional sobre você não se alteraria (contanto que ela não se expandisse a ponto de engolfá-lo, circunstância essa que faria decrescer a força gravitacional dela sobre você).

Agora, suponhamos que você esteja sobre a superfície terrestre no momento em que esta começa a se contrair e que você aí permaneça durante todo o processo de contração. Tanto a massa da Terra como a sua continuariam as mesmas, mas sua distância do centro terrestre diminuiria pela metade. Você ainda estaria fora da Terra em si e toda a massa terrestre estaria

entre você e o centro, de modo que a força gravitacional terrestre sobre você aumentaria 2 x 2, ou 4 vezes. Em outras palavras, a *gravidade da superfície* da Terra aumentaria à medida em que ela se contraísse.

Se a Terra continuasse a se contrair sem perder massa e você permanecesse na superfície, a força gravitacional sobre você aumentaria progressivamente. Se pudéssemos imaginar a Terra minguando até o ponto do diâmetro zero (retendo a massa original) e você de pé sobre o mesmo ponto, a força gravitacional sobre você seria infinita.

Isto é verdadeiro para qualquer corpo com massa, não importa suas dimensões. Se você, ou eu ou mesmo um próton fosse comprimido gradativamente, a força gravitacional sobre sua superfície, ou a minha, ou a de um próton, aumentaria infinitamente. E se você, ou eu ou um próton, fosse reduzido até o ponto do diâmetro zero, retendo a massa original, a gravidade da superfície, em cada caso, tornar-se-ia infinita.

BURACOS NEGROS

Naturalmente, a Terra nunca deverá se contrair e diminuir de tamanho, a menos que as condições atuais se modifiquem. Nem qualquer coisa menor que a Terra estará sujeita a esse fenômeno. Mesmo objetos bem maiores que a Terra — como Júpiter, por exemplo, cuja massa é 318 vezes maior que a da Terra — jamais se contrairão se tudo continuar como está.

As estrelas, entretanto, possivelmente se contrairão. Elas têm muito mais massa que os planetas; seus poderosos campos gravitacionais causarão a contração quando seu combustível nuclear minguar até abaixo do ponto crítico, não mais produzindo calor suficiente para contrabalançar a força gravitacional. Até que ponto a contração prosseguirá vai depender da intensidade do campo gravitacional do corpo em contração e, portanto, de sua massa. Se sua massa é grande o suficiente, não há limites à contração, pelo que se sabe, e o corpo se contrai até o volume zero.

Quando a estrela se contrai, a intensidade de seu campo gravitacional a distâncias consideráveis não se modifica, mas a gravidade da superfície aumenta ilimitadamente. Como conseqüência, a velocidade de escape da estrela aumenta de acordo com seu grau de contração. Torna-se cada vez mais difícil para qualquer objeto sair da estrela à medida em que ela se contrai e a gravidade da superfície aumenta.

Atualmente, por exemplo, a velocidade de escape da superfície do Sol é de 617 quilômetros por segundo, quase *55* vezes a velocidade de escape da superfície da Terra. Ainda é suficientemente pequena para os materiais escaparem do Sol com facilidade. O Sol (e outras estrelas) está constantemente emitindo partículas subatômicas em todas as direções em alta velocidade.

Se, todavia, o Sol fosse contrair-se e sua gravidade de superfície aumentasse, a velocidade de escape subiria a milhares de quilômetros por segundo — dezenas de milhares — centenas de milhares. Chegaria a um ponto em que a velocidade de escape atingiria 300 000

quilômetros por segundo, que é a velocidade da luz.

Quando a estrela (ou qualquer objeto) se contrai até o ponto em que a velocidade de escape se iguala à velocidade da luz, ela atinge o "raio Schwarzschíld", assim chamado porque foi inicialmente discutido pelo astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916), embora o primeiro tratamento teórico completo da situação só tenha ocorrido em 1939, pelo físico americano J. Robert Oppenheimer (1904-67).

A Terra atingiria seu raio Schwarzschild se encolhesse até o raio de 1 centímetro. Como o raio de qualquer esfera é a metade de seu diâmetro, a Terra seria uma bola de 2 centímetros, bola essa que conteria a massa inteira da Terra. O Sol atingiria seu raio Schwarzschild se encolhesse até o raio de 3 quilômetros, retendo toda a massa.

Está bem comprovado que nada que tenha massa pode viajar com velocidade maior que a da luz. Uma vez que um objeto tenha encolhido até o ponto do raio Schwarzschild ou menos, nada pode escapar dele[12]. Qualquer coisa caída no objeto contraído não mais pode sair, de forma que o objeto contraído é como um buraco infinitamente profundo no espaço. Mesmo a luz não pode se evadir, razão pela qual o objeto contraído é totalmente negro.

O físico americano John Archibald Wheeler (1911-) foi o primeiro a usar a expressão "buracos negros" para denominar tais objetos[13] .

Seria de se esperar, então, que os buracos negros fossem formados por falta de combustível nas estrelas e quando estas fossem grandes e produzissem um campo gravitacional tal que as reduzisse a seu raio Schwarzschild. Tal processo seria unidirecional, isto é, um buraco negro se forma mas não se desfaz. Uma vez formado, ele é permanente — salvo uma exceção que discutirei mais adiante.

Além disso, qualquer coisa que se aproxime de um buraco negro pode ser capturada pelo intensíssimo campo gravitacional existente em suas adjacências. O objeto que se aproxima pode espiralar em torno do buraco negro até cair nele. Feito isso, não mais se desloca. Parece-nos, portanto, que o buraco negro ganha massa, mas nunca a perde.

Se os buracos negros se formam sem jamais desaparecer, é de se esperar que o número deles aumente com o passar do tempo. Além disso, se os buracos negros só ganham massa, devem estar todos crescendo. Com mais e maiores buracos negros a cada ano, resulta que a massa do universo cada vez mais se concentra em buracos negros — o que significa que todos os objetos universais acabarão por se encontrar em um buraco negro, aqui ou acolá.

Se vivemos em um universo aberto, poderíamos imaginar que o fim não se resume em máxima entropia com a morte pelo calor num mar infinito de gás rarefeito. Nem se restringe à máxima entropia com a morte pelo calor em cada um dos 1 bilhão de aglomerados galácticos separados uns dos outros a distâncias cada vez mais crescentes. Em vez disso, parece que o universo alcançaria, a longo prazo, entropia máxima na forma de inúmeros buracos negros maciços, arranjados em grupos incalculavelmente distantes uns dos outros. Hoje, assim apareceria o futuro mais provável para um universo aberto.

Há razões teóricas que corroboram a suposição de que as energias gravitacionais dos buracos negros podem produzir grande quantidade de trabalho. Podemos facilmente imaginar seres humanos utilizando os buracos negros como uma fornalha universal, atirando ali toda a

massa desprezível e aproveitando a radiação produzida no processo. Se não existisse massa excedente, poder-se-ia utilizar a energia de rotação dos buracos negros.

Desse modo, muito mais energia pode ser extraída de buracos negros do que da mesma quantidade de massa de estrelas comuns, e a espécie humana poderia perdurar mais em um universo que tivesse buracos negros do que em outro desprovido deles.

No final, todavia, a segunda lei vingaria. Toda matéria acabaria em buracos negros e estes não mais fariam o movimento de rotação. Não se extrairia mais trabalho deles e existiria a máxima entropia. Seria muito mais difícil evitar a morte pelo calor, caso ela chegasse, com os buracos negros do que sem eles. Não poderíamos enfrentar facilmente flutuações casuais em porções de baixa entropia; é difícil conceber de que modo a vida evitaria sua catástrofe derradeira.

Como ficariam os buracos negros no caso do universo fechado?

O processo pelo qual o número e o tamanho dos buracos negros aumenta pode ser lento, considerando-se o tamanho e a massa total do universo. Apesar de o universo ter 15 bilhões de anos de idade, os buracos negros provavelmente constituem apenas uma pequena porção de sua massa[14].

Mesmo após meio trilhão de anos, quando sobrevier a reviravolta e o universo começar a se contrair, pode ser que os buracos negros perfaçam apenas uma pequena fração da massa total.

Porém, tão logo o universo comece a se contrair, a catástrofe dos buracos negros ganhará um potencial extra. Os buracos negros formados durante a expansão se restringem ao âmago das galáxias, mas, então, à medida em que os aglomerados galácticos se aproximarem uns dos outros e o universo ficar rico em radiação energética, poderemos estar certos de que os buracos negros serão mais numerosos e crescerão mais depressa. Em estágios finais, à medida em que os aglomerados galácticos se aglutinam, os próprios buracos negros se aglutinam; a compressão final em um único ovo cósmico não é nada mais que uma compressão em um enorme buraco negro universal.

Só mesmo um buraco negro poderia conter toda a massa universal e ter as dimensões do ovo cósmico.

Entretanto, se nada emerge de um buraco negro, como o ovo cósmico, formado pela contração do universo, pode explodir e formar um novo universo? A propósito, como o ovo cósmico de 15 bilhões de anos atrás explodiu para formar o universo que ora habitamos?

Para percebermos como isso pode ocorrer, devemos compreender que nem todos os buracos negros são igualmente densos. Para começar, quanto maior a massa de um objeto, mais intensa é sua gravidade de superfície (se for uma estrela comum) e mais alta é sua velocidade de escape.

Conseqüentemente, precisará contrair-se menos até alcançar uma velocidade de escape que se iguale à velocidade da luz e maior será o raio Schwarzschild com o qual termina.

Como afirmei anteriormente, o raio Schwarzschild do Sol seria de 3 quilômetros. Se uma estrela cuja massa fosse o triplo da do Sol se contraísse até seu raio Schwarzschild, este seria de 9 quilômetros.

Uma esfera cujo raio fosse de 9 quilômetros teria o triplo do raio de uma esfera de 3 quilômetros de raio, e teria 3 X 3 X 3, ou 27 vezes o volume.

No volume da esfera maior haveria o triplo de massa. A densidade do maior buraco negro seria 3/27 ou 1/9 da densidade do pequeno.

De modo geral, quanto mais maciço for um buraco negro, menos denso ele será.

Se a galáxia da via-láctea, cuja massa é 150 bilhões de vezes maior que a do Sol, tivesse que se reduzir a um buraco negro, seu raio Schwarzschild teria 450 bilhões de quilômetros, ou aproximadamente $^{1}/_{20}$ de 1 ano-luz. Tal buraco negro teria uma densidade média mil vezes menor que a do ar que nos circunda. Mais pareceria um vácuo — mas ainda seria um buraco negro do qual nada escaparia.

Se houvesse uma quantidade de massa no universo que o tornasse fechado, e se toda essa massa estivesse comprimida em um buraco negro, seu raio Schwarzschild seria de aproximadamente 300 bilhões de anos-luz! Tal buraco negro teria um volume muito maior do que o universo conhecido; sua densidade seria bastante menor que a atual densidade média do universo.

Assim sendo, imaginemos o universo em contração. Suponhamos que cada galáxia tenha perdido a maior parte de sua matéria para um buraco negro, de modo que o universo em contração consista em 100 bilhões de buracos negros, com diâmetros variando de 1/500 de 1 ano-luz a 1 ano-luz, dependendo de sua massa. Nenhuma matéria pode emergir de nenhum desses buracos negros.

Agora, nos estágios finais da contração, todos esses buracos negros se encontram e se aglutinam para formar um único buraco negro contendo a massa do universo — e com um raio Schwarzschild de 300 bilhões de anos-luz. Nada pode atravessar os limites desse raio, mas bem que podem existir expansões *dentro* dos limites do raio. O arremesso para fora do raio, por assim dizer, pode perfeitamente ser o evento que inicia a grande explosão.

Uma vez mais o universo se forma através da expansão numa vasta explosão. Assim se formam as galáxias, as estrelas e os planetas. Mais cedo ou mais tarde, começarão a se formar buracos negros, e a coisa toda se repete.

Se continuarmos nesta linha de pensamento, deveremos concluir que o universo não pode ser aberto — que ele não se expande para sempre.

O ovo cósmico de onde se originou a expansão *deve* ter sido um buraco negro e *deve* ter tido um raio Schwarzschild. Se fosse o caso de o universo se expandir eternamente, algumas de suas partes conseqüentemente teriam que superar o raio Schwarzschild, o que seria impossível. Por essa razão, o universo deve ser fechado, e a reviravolta deve ocorrer antes que o raio Schwarzschild seja alcançado[15].

QUASARES

Das três catástrofes do primeiro grau capazes de inviabilizar a vida no universo — expansão até a morte pelo calor, contração até o ovo cósmico e contração em buracos negros separados —, a terceira é diferente das duas primeiras em certos aspectos importantes.

Tanto a expansão geral do universo até a morte pelo calor quanto a contração geral do universo até a formação do ovo cósmico afetariam o universo mais ou menos da mesma forma. Em ambos os casos, considerando-se que a vida humana ainda sobreviva daqui a 1 trilhão de anos, não haveria razões para se supor que poderíamos levar vantagem ou desvantagem por nossa particular posição no universo. Nosso pedaço de universo não vai ser prejudicado significativamente, mais cedo — ou mais tarde — do que qualquer outro.

No caso da terceira catástrofe, a dos buracos negros separados, a situação é bem diversa. Neste caso estamos lidando com uma série de catástrofes *locais*. Um buraco negro pode se formar aqui e não lá adiante, de modo que a vida pode ser impossível aqui, mas não lá adiante. A longo prazo, com certeza, tudo se aglutinará em um buraco negro. Porém, os buracos negros que se formam aqui e agora podem impossibilitar a vida em suas adjacências *aqui e agora,* embora a vida continue acolá, despercebida e despreocupadamente, por 1 trilhão de anos. Portanto, resta-nos questionar se realmente há buracos negros existindo hoje. Se houver, devemos nos perguntar onde provavelmente estão e qual a probabilidade de interferirem em nossa vida de modo catastrófico, mesmo antes (ou talvez muito antes) da catástrofe final.

Para começar, é lógico que um buraco negro venha a se formar em lugares onde já se acumula muita massa. Quanto mais maciça for uma estrela, melhor candidata ela será para se constituir num buraco negro. Os aglomerados estelares, onde numerosas estrelas se reúnem, são candidatos melhores ainda.

Os aglomerados maiores e onde mais se concentram estrelas estão nos centros de galáxias, mais exatamente nos centros de galáxias gigantescas como a nossa, ou até maiores. Lá, milhões ou bilhões de estrelas encontram-se amontoadas em um minúsculo volume, e *é* lá que a catástrofe do buraco negro mais provavelmente ocorrerá.

Há apenas vinte anos, os astrônomos mal imaginavam que os centros galácticos eram palco dos mais violentos acontecimentos. As estrelas se concentravam nesses centros, mas, mesmo nos centros de grandes galáxias, as estrelas estariam separadas de um décimo de ano-luz em média, e ainda haveria espaço para se moverem sem interferir seriamente umas nas outras.

Se nosso Sol estivesse localizado nesse tipo de região, veríamos 2,5 bilhões de estrelas a olho nu, das quais 10 milhões seriam de primeira grandeza — mas todas seriam vistas como simples pontos luminosos. A luz e o calor emitidos por essas estrelas poderiam ser um quarto daquilo que o Sol emite. Esta luz e este calor adicionais fariam a Terra inabitável — a menos que ela estivesse mais distante do Sol, como, por exemplo, na atual posição de Marte. Poderíamos ter utilizado esse argumento em anos tão recentes como 1960, por exemplo, desejando que o Sol *estivesse* no centro galáctico, para então podermos admirar noites mais belas.

Se pudéssemos captar somente a luz visível emitida pelas estrelas, talvez jamais tivéssemos encontrado motivos para mudar de idéia. Em 1931, porém, o engenheiro americano Karl Guthe Jansky (1905-50) detectou radioondas de comprimentos 1 milhão de vezes maiores que os da

luz visível, vindas de determinadas regiões celestes. Após a Segunda Guerra Mundial, os astrônomos desenvolveram métodos de captação dessas ondas, em especial de uma variedade de ondas curtas chamadas microondas. Várias fontes de microondas foram localizadas no céu com os radiotelescópios dos anos 50. Muitas delas pareciam estar associadas a estrelas muito obscuras de nossa própria galáxia. Um exame mais aguçado dessas estrelas demonstrou que elas não apenas se destacavam por emitir microondas, mas também pareciam estar associadas a pálidas nuvens, ou nebulosidades, que as circundavam. A mais brilhante delas, registrada nos catálogos como 3C273, manifestava indícios de um minúsculo jato de matéria que emergia dela.

Os astrônomos começaram a suspeitar de que esses objetos emissores de microondas não eram estrelas comuns, embora dessem essa impressão.

Passaram a ser denominados radiofontes quase-estelares (em forma de estrela). Em 1964, o astrônomo sino-americano Hong-Yee Chiu abreviou o nome para "quasar" — como são hoje conhecidos os objetos emissores de microondas.

Os espectros dos quasares foram estudados, mas os traços escuros encontrados não foram identificados até 1963. Nesse ano, o astrônomo holandês-americano Maarten Schmidt (1929-) reconheceu que os traços eram do tipo que aparecia no ultravioleta, isto é, representavam ondas luminosas muito mais curtas que as que nossa retina é capaz de captar. Apareciam na região visível dos espectros dos quasares somente porque haviam se submetido a um enorme desvio vermelho.

Isso significava que os quasares se afastavam de nós mais rápido que qualquer galáxia que pudesse ser vista e estavam mais longe de nós do que qualquer uma dessas galáxias. O quasar 3C273 é o mais próximo de nós e fica a mais de 1 bilhão de anos-luz. Quasares mais longínquos são descobertos às dúzias. Os mais distantes estão situados a até 12 bilhões de anos-luz.

Para serem vistos de tão longe, os quasares devem ser cem vezes mais brilhantes que a nossa galáxia. Se o são, não é porque são cem vezes maiores que a via-láctea ou possuem cem vezes mais estrelas. Se os quasares fossem tão grandes, mesmo a enormes distâncias, nossos telescópios os revelariam como faixas nebulosas, e não simplesmente como pontos luminosos. Eles devem ser muito menores que galáxias.

A pequenez dos quasares é também indicada pelo fato de que eles variam em brilho de ano para ano (de mês a mês, em alguns casos). Isso não pode ocorrer num corpo que tenha a dimensão de uma galáxia. Algumas partes da galáxia perdem e outras ganham brilho, mas a média permanece constante. Para que toda ela ganhe ou perca brilho, é necessário que haja algum efeito que atinja todas as suas partes. Tal efeito, seja qual for, deve viajar de um extremo a outro e não o faz com velocidade superior à da luz.

No caso da galáxia via-láctea, por exemplo, um dado efeito levaria 100 000 anos para atravessá-la; e se a nossa galáxia como um todo perdesse ou ganhasse brilho repetidas vezes, seria de se esperar que a alteração no brilho demorasse 100 000 anos para acontecer.

As rápidas alterações dos quasares demonstravam que eles não podiam ter mais que 1 ano-luz de diâmetro; mesmo assim, eles emitiam radiação cem vezes mais rápido que nossa galáxia, cujo diâmetro é de 100.000 anos-luz. Mas como? O princípio da resposta pode ter

aparecido em 1943, quando um formando em astronomia, Carl Seyfert, descobriu uma galáxia excêntrica, membro de um grupo hoje chamado de "galáxias de Seyfert".

As Seyfert não são descomunais em tamanho nem distância, mas têm centros muito compactos e brilhantes, que parecem extremamente quentes e ativos — como um quasar, aliás. Assim como os quasares, esses centros brilhantes apresentam variação na radiação e também têm diâmetros de aproximadamente 1 ano-luz.

Se imaginarmos uma longínqua galáxia de Seyfert com um centro bastante luminoso, tudo o que veremos será esse centro; o resto estará opaco demais para ser distinguido. Resumindo, parece que os quasares são nada mais que galáxias de Seyfert longínquas, das quais só vemos os centros (apesar de que as nebulosidades que circundam os quasares mais próximos possam ser parte das galáxias aparecendo). Pode ser que haja uma proporção de 1 bilhão de galáxias comuns para cada gigantesca galáxia de Seyíert, mas não vemos as galáxias comuns. Nenhuma parte delas brilha a ponto de ser vista.

Galáxias que não são Seyfert também parecem ter centros ativos — centros que de um modo ou de outro são fontes de radiação ou dão indícios de que sofreram explosões, ou ambos.

Será possível que a união de estrelas em centros galácticos produza condições que propiciem a existência de buracos negros, os quais crescem constantemente, ficam enormes e produzem a atividade dos centros galácticos, a qual é responsável pelo brilho dos centros das galáxias de Seyfert e dos quasares?

Logicamente, a questão é a de como os buracos negros podem ser a fonte de radiação extremamente energética dos centros galácticos, sendo que nada pode emergir deles, nem mesmo a radiação. O *x* da questão é que a radiação não precisa necessariamente surgir do próprio buraco negro.

Quando a matéria se dirige para o buraco negro, seu rapidíssimo movimento orbital, sob o efeito do intensíssimo campo gravitacional naquela região, acaba por causar a emissão de radiação intensamente energética. Raios X, que são como a luz mas com ondas 500 000 vezes menores, são emitidos em grande escala.

A quantidade de radiação emitida assim depende de duas coisas: em primeiro lugar, da massa do buraco negro, pois quanto mais maciço ele for, mais e com maior rapidez ele engolfa a matéria, produzindo mais radiação; em segundo lugar, da quantidade de matéria existente nos arredores do buraco negro. A matéria concentrada nessa área se reúne e se instala numa órbita chamada "disco de acréscimo". Quanto mais matéria houver nas redondezas, maior poderá ser o disco de acréscimo, maior a quantidade de matéria a adentrar o buraco negro e mais intensa será a radiação produzida.

Um centro galáctico não é apenas o local ideal para a formação de buraco negro; ele também oferece a vantagem de grandes quantidades de matéria nas proximidades. Não é para menos que há fontes de radiação tão compactas no centro de tantas galáxias e que a radiação seja tão intensa nessa região.

Alguns astrônomos especulam que toda galáxia tem um buraco negro no centro. Realmente, é possível que à medida em que nuvens gasosas se contraiam não muito tempo após a grande explosão, as porções mais densas se condensem em buracos negros. Outras contrações então

passam a ocorrer nas regiões gasosas atraídas pelo buraco negro e orbitando à sua volta. Dessa forma, uma galáxia formar-se-ia como uma espécie de superdisco de acréscimo ao redor de um buraco negro central, o qual se constituiria na parte mais primitiva da galáxia.

Na maioria dos casos, os buracos negros seriam bastante pequenos e não produziriam radiação suficiente para permitir que nossos instrumentos detectassem qualquer coisa estranha em seus centros. Por outro lado, alguns buracos negros podem ser tão grandes que os discos de acréscimo em suas imediações sejam constituídos por estrelas intatas que virtualmente colidam em órbita e sejam finalmente engolidas inteiras — o que torna as regiões nas imediações do buraco negro extraordinariamente luminosas e brilhantes pela radiação energética.

Ademais, a matéria que cai num buraco negro pode liberar até 10 por cento ou mais de sua massa sob a forma de energia, enquanto a radiação comum das estrelas comuns, através de fusão no centro, é o resultado da conversão de apenas 0,7 por cento de massa ou energia.

Em tais condições, não é surpreendente que os quasares sejam tão pequenos e, no entanto, tão luminosos. Pode-se também entender por que eles escurecem e reacendem. Isso dependeria do modo irregular em que a matéria espiralaria para dentro. Às vezes, imensas porções de matéria poderiam entrar; em outras, pelo contrário, fá-lo-iam quantidades bastante pequenas.

Segundo estudos realizados em 1978, relativos à radiação de raios X espaciais, considera-se possível que uma típica galáxia de Seyfert contenha buracos negros centrais com massas de 10 a 100 milhões de vezes maiores que a do Sol. Os buracos negros do centro de quasares devem ser consideravelmente maiores, com massas 1 bilhão (ou mais) de vezes maiores que a do Sol.

Mesmo galáxias que não são Seyfert podem ser desse tipo, se forem suficientemente grandes. Existe uma galáxia conhecida como M87, por exemplo, que tem uma massa talvez cem vezes maior que a nossa via-láctea e contém talvez 30 trilhões de estrelas. Ela pertence a um imenso aglomerado galáctico que faz parte da constelação de Virgem e está a 65 milhões de anos-luz daqui. A galáxia M87 possui um centro muito ativo, com menos (talvez muito menos) de 300 anos-luz de diâmetro, em comparação com o diâmetro de 300 000 anos-luz da galáxia inteira. Mais: parece existir um jato de matéria espraiando-se do centro para além dos limites da galáxia.

Em 1978, astrônomos apresentaram um relatório de estudos sobre o brilho do centro em comparação com as regiões mais externas e o grau de velocidade com que as estrelas pareciam se mover perto do centro da galáxia.

Os resultados desse estudo levaram à hipótese de que há um enorme buraco negro no centro daquela galáxia, com massa igual a 6 bilhões de vezes a massa do Sol. Mesmo assim, esse buraco negro representa apenas 1/2 500 da massa da galáxia M87.

NO INTERIOR DA NOSSA GALÁXIA

Está claro que o buraco negro no centro da galáxia M87 e os buracos negros nos centros das

galáxias de Seyfert e dos quasares não podem constituir perigo para nós. Os 65 milhões de anos-luz que nos separam do buraco negro M87 e as distâncias ainda maiores que nos separam das galáxias de Seyfert e dos quasares favorecem isolamento mais que satisfatório contra a ameaça dos buracos negros. Além do mais, os quasares estão todos se afastando de nós a velocidades altíssimas, de um a nove décimos da velocidade da luz; até a galáxia M87 está se afastando de nós a velocidade respeitável.

De fato, já que o universo está se expandindo, todos os buracos negros localizados em qualquer lugar fora de nosso grupo local estão sendo afastados de nós rápida e constantemente. Eles não podem de modo algum nos afetar até o fim do período de contração — a catástrofe definitiva.

Mas o que pensar das galáxias de nosso próprio grupo local, as quais permanecerão em nossa vizinhança independentemente de quanto o universo se expanda? Será que as galáxias de nosso grupo local poderiam conter buracos negros? Poderiam. Nenhuma das galáxias do grupo local, afora a nossa própria, mostra quaisquer sinais de atividade suspeita em seus centros, e os membros pequenos não são, de qualquer forma, capazes de apresentar buracos negros. A galáxia de Andrômeda, que é um pouquinho maior que a nossa via-láctea, pode muito bem possuir um buraco negro relativamente grande em seu centro, e ela certamente não vai se afastar muito de nós. Nem se aproximar muito.

E a nossa própria galáxia? Há atividade suspeita em seu centro. A via láctea não *é* uma galáxia realmente ativa no sentido que o são M87, as Seyfert ou os quasares, mas seu centro está muito mais próximo de nós que o centro de qualquer outra galáxia no universo. Ao passo que o quasar mais próximo está a 1 bilhão de anos-lu2, M87 a 65 milhões de anos-luz e a galáxia de Andrômeda a 2,3 milhões de anos-luz daqui, o centro de nossa galáxia está a 32 000 anos-luz de nós. É óbvio que poderíamos detectar mais prontamente uma pequena atividade em nossa própria galáxia que em qualquer outra.

A atividade de um objeto de 40 anos-luz de largura, exatamente no centro de nossa galáxia, é grande o suficiente para cogitarmos da possibilidade de um buraco negro. Alguns astrônomos estão mesmo tendendo a estimar uma massa 100 milhões de vezes maior que a do Sol para um certo buraco negro existente no centro de nossa galáxia.

Tal buraco negro possui apenas 1/60 da massa do buraco negro que se crê existir no centro da galáxia M87; por outro lado, nossa galáxia é muito menos maciça que aquela. Nosso buraco negro teria aproximadamente 1/1500 da massa de nossa galáxia. Proporcionalmente ao tamanho da galáxia que o contém, nosso buraco negro seria 1,6 vez maior que o da M87.

Será que o buraco negro no centro de nossa galáxia da via-láctea representa uma ameaça para nós? Se sim, quão iminente é ela?

Poderíamos fazer a seguinte análise: nossa galáxia foi formada logo após a grande explosão. O buraco negro central deve ter se formado antes do resto da galáxia. Digamos que ele foi formado 1 bilhão de anos depois da grande explosão, ou seja, 14 bilhões de anos atrás. Nesse caso, o buraco negro levou 14 bilhões de anos para engolir 1/1 500 de nossa galáxia. Nesse ritmo, ele levará cerca de 21 000 bilhões de anos para engolir a galáxia inteira; ora, até lá, ou a catástrofe da morte pelo calor ou, mais provavelmente (creio eu), a catástrofe do próximo ovo cósmico já terá dado conta de nós.

Mas é correto dizer "nesse ritmo"? Afinal de contas, quanto mais um buraco negro cresce, mais indiscriminadamente engolfa a matéria à sua volta.

Ele poderia levar 14 bilhões de anos para engolir 1/1 500 de nossa galáxia e apenas 1 bilhão de anos para completar o serviço.

Por outro lado, a capacidade de o buraco negro engolfar matéria depende também da densidade da matéria existente nos arredores. À medida em que cresce o buraco negro no centro de qualquer galáxia, ele vai eficientemente absorvendo as estrelas localizadas nos núcleos galácticos e, finalmente, formando o que se poderia chamar uma "galáxia oca", com um núcleo vazio exceto pelo gigantesco buraco negro central e com massa de até 100 bilhões de vezes a de nosso Sol, ou até 1 trilhão de vezes, numa grande galáxia. O diâmetro de tais buracos negros mediria de 0,1 a 1 ano-luz.

Mesmo assim, as demais estrelas nos arredores da galáxia estariam orbitando à volta daquele buraco negro central com relativa segurança. De vez em quando, uma estrela, sob a influência de outras, teria sua órbita alterada de tal modo que ela se aproximaria demasiadamente do buraco negro e seria capturada, mas isso seria um incidente raro que, com o tempo, escassearia ainda mais. Para a maioria delas, circular o buraco negro central não representaria maior perigo que a translação terrestre. Afinal de contas, se por qualquer razão a Terra se aproximasse excessivamente do Sol, seria por ele tragada exatamente como por um buraco negro.

Na verdade, mesmo que o buraco negro no centro da galáxia absorvesse o núcleo e deixasse a galáxia oca, não o perceberíamos exceto pelo declínio em atividade radiante, à medida em que cada vez menos material espiralasse para o interior do buraco negro. O centro da galáxia está oculto por vastas nuvens de poeira e aglomerados estelares na direção da constelação de Sagitário; se fosse esvaziado, não poderíamos ver nenhuma mudança.

Se o universo fosse aberto, poderíamos imaginar a expansão futura como aquela em que todas as galáxias seriam ocas; uma série de superburacos negros, cada um deles rodeado por um tipo de cinturão estelar se dirigindo para a morte pelo calor.

É possível, contudo, haver buracos negros em nossa galáxia em outro lugar que não o centro e, portanto, mais perto de nós?

Consideremos os aglomerados globulares. Eles consistem em grupos estelares esféricos e firmemente coesos, com um máximo de 100 anos-luz de diâmetro. Dentro desse volume relativamente pequeno concentram-se de 100.000 a 1 milhão de estrelas. Um aglomerado globular é mais ou menos como uma porção separada do núcleo galáctico, muito menor que o núcleo, naturalmente, e não tão firmemente condensado. Tem-se detectado mais de cem deles, distribuídos num halo esférico ao redor do centro galáctico. (Sem dúvida, outras galáxias também têm halos de aglomerados globulares.) Os astrônomos detectaram atividades de raios X no centro de numerosos aglomerados desse tipo, e não é nem um pouco difícil supor-se que os mesmos processos que originaram buracos negros nos centros das galáxias poderiam igualmente originar buracos negros nos centros dos aglomerados globulares.

Os buracos negros de aglomerados não seriam tão grandes quanto os de centros galácticos, mas poderiam ser mil vezes mais maciços que o nosso Sol. Embora sendo menores que o grande buraco negro galáctico, poderiam eles colocar-nos em perigo mais imediato? No

presente momento, certamente não. O aglomerado globular mais próximo de nós é o Ômega de Centauro, que dista uns seguros 22 000 anos-luz.

Até agora, pois, a falha tem sido nossa. Descobertas astronômicas desde 1963 demonstram que os centros de galáxias e de aglomerados globulares são zonas ativas, violentas e hostis à vida. São locais onde a catástrofe já chegou, no sentido em que a vida em quaisquer planetas em tais áreas seria destruída diretamente, pela absorção por um buraco negro, ou indiretamente, pelo banho mortal de radiação resultante de tal atividade.

Poderíamos, todavia, dizer que, na verdade, jamais houve qualquer coisa lá para sofrer uma catástrofe, pois que é altamente improvável que, sob tais condições, a vida tenha sequer surgido lá. Nós, porém, existimos na calma fronteira de uma galáxia onde as estrelas estão espaçadamente espalhadas.

Portanto, a catástrofe dos buracos negros não é para nós.

Mas, atenção! Será possível que mesmo aqui na fronteira da galáxia existam buracos negros? Não há, em nossa vizinhança, grandes aglomerados dentro dos quais os buracos negros pudessem se formar, mas pode haver suficiente massa, concentrada em estrelas distintas, para formar um buraco negro[16]. Devemos perguntar, pois, se algumas estrelas gigantes perto de nós formaram buracos negros. Se sim, onde estão eles? São perigosos?

Parece existir uma frustrante fatalidade relacionada com os buracos negros. O que vemos diretamente não é o buraco negro, mas a irradiação do “grito mortal” da matéria sendo absorvida por ele. O grito mortal é alto quando um buraco negro é circundado de matéria que pode capturar, mas a matéria que o circunda oculta as imediações do buraco negro. Se há pouca matéria ao redor do buraco negro de forma a nos possibilitar ver suas imediações, também há pouca matéria caindo nele e o grito mortal é fraco; conseqüentemente, somos levados a não tomar conhecimento da existência do buraco negro.

Entretanto, há uma possibilidade conveniente. Cerca de metade das estrelas no universo parece existir aos pares (“sistemas binários”), girando uma ao redor da outra. Se ambas as estrelas são grandes, uma delas pode ser convertida num buraco negro em algum estágio de sua evolução, e a matéria da estrela companheira poderia, pouco a pouco, ser absorvida pelo buraco negro vizinho. Isso produziria a radiação, sem obscurecer o buraco negro indevidamente.

A fim de, detectar possíveis situações desse tipo, os astrônomos vêm vasculhando o céu em busca de fontes de raios X e tentando analisar cada uma delas, procurando alguma que estivesse nas proximidades e que não poderia ser explicada por nada menos que um buraco negro. Por exemplo, uma fonte de raios X que mudasse sua intensidade de modo irregular seria mais capaz de ser um buraco negro que uma outra, cuja intensidade fosse constante ou mudasse de modo regular.

Em 1969, um satélite detector de raios X foi lançado da costa do Quênia no quinto aniversário da independência desse país. O satélite foi denominado *Uhuru,* da palavra suaili para “liberdade”. Ele deveria pesquisar fontes de raios X em sua órbita além da atmosfera terrestre — isso era necessário porque a atmosfera absorve raios X, não permitindo que estes alcancem qualquer instrumento detector de raios X na superfície da Terra.

O *Uhuru* detectou 161 fontes de raios X, metade delas em nossa própria galáxia. Em 1971, o *Uhuru* observou uma brilhante fonte na constelação de Cygnus, isto é, Cisne — e a fonte denominada "Cygnus X-1"

— e detectou uma mudança irregular de intensidade. A atenção geral foi enfocada em Cygnus X-1; foi detectada também uma radiação de microondas. As microondas possibilitaram a localização precisa da fonte e descobriu-se que ela estava muito próxima de uma estrela, mas não na própria estrela. A estrela era a HD-226868, uma estrela azul grande e quente e trinta vezes mais maciça que o Sol. A estrela estava claramente circulando numa órbita com período de cinco, seis dias — dado indicativo de que a outra estrela era talvez de cinco a oito vezes mais maciça que o Sol.

A estrela companheira não pode ser vista, muito embora seja uma fonte de intensos raios X, o que, considerando sua massa e o conseqüente brilho deduzido, não seria o caso, se ela fosse uma estrela normal. Ela deve, portanto, ser uma estrela contraída, e é maciça demais para se contrair em algo menos que um buraco negro. Se assim é, ela é muito menor que os buracos negros até aqui discutidos, aqueles cujas massas são milhares, milhões e até bilhões de vezes maiores que as do Sol. Esta tem, no máximo, oito vezes a massa do Sol.

Está, todavia, mais perto que quaisquer outras. Estima-se que Cygnus X-1 dista apenas 10 000 anos-luz, menos que um terço da distância do centro galáctico e menos que metade da distância do aglomerado globular mais próximo.

Em 1978, um sistema binário similar foi localizado na constelação de Escorpião. A fonte de raios X dessa região, registrada como V861Sco, pode representar um buraco negro com massa doze vezes maior que a do Sol, e está a 5 000 anos-luz daqui.

Podemos corretamente argumentar que 5 000 anos-luz ainda é distância adequada e segura. Podemos ainda argumentar que é bastante improvável que haja buracos negros mais próximos que isso. As estrelas que produzem buracos negros são tão poucas, que é improvável que uma delas esteja perto de nós sob condições de permanecer despercebida. Se estivesse perto o suficiente, mesmo quantidades mínimas de matéria que lá caíssem produziriam intensidades de raios X detectáveis.

Esses buracos negros próximos, porém, apresentam um perigo que os outros não oferecem. Vejamos: todos os buracos negros de galáxias fora de nosso grupo local estão particularmente afastados e constantemente se afastando mais por causa da expansão do universo. Todos os buracos negros de galáxias que não a nossa, mas pertencentes ao grupo local, estão afastados; e assim permanecem. Embora não se afastem apreciavelmente, também não se aproximam. O buraco negro no centro de nossa galáxia naturalmente está mais perto de nós que qualquer buraco negro em qualquer outra galáxia, mas ele também mantém sua distância, porque o Sol se move à sua volta em órbita quase circular.

No entanto, os buracos negros de nossa galáxia que não estão em seu centro se movem a seu redor como o fazemos. Todos nós temos nossas órbitas e no processo de realizá-las esses buracos negros podem se afastar ou se aproximar de nós. Na realidade, metade do tempo eles tendem a executar a segunda alternativa — a aproximação.

A que distância? Qual o risco?

É hora de passarmos das catástrofes do primeiro grau, que afetam o universo em geral, para as catástrofes do segundo grau, que afetam particularmente o nosso sistema solar.

Parte II

CATÁSTROFES DO SEGUNDO GRAU

5 — COLISÕES COM O SOL

CONSEQÜÊNCIAS DE CONTATOS IMEDIATOS

Ter-se-ia a impressão de que a catástrofe do primeiro grau mais provável e inevitável é o advento do próximo ovo cósmico, dentro de aproximadamente 1 trilhão de anos. Entretanto, a discussão acerca dos buracos negros demonstrou que catástrofes locais poderiam extinguir determinados lugares antes de o período de 1 trilhão de anos se completar.

Portanto, é chegada a hora de se considerar a possibilidade de uma catástrofe local fazer com que o sistema solar se torne inabitável, eliminando, assim, a possibilidade da existência humana, mesmo enquanto o restante do universo permanece intato.

Isso seria uma catástrofe do segundo grau.

Antes de Copérnico, parecia óbvio que a Terra era o centro imóvel do universo, em torno do qual tudo girava. Pensava-se que as estrelas, em especial, eram fixas em um tipo de esfera que demarcava o fim do céu e que, por assim dizer, giravam a um só tempo em torno da Terra durante 24 horas.

Referia-se às estrelas como sendo "estrelas fixas", para diferenciá-las de outros corpos mais próximos como o Sol, a Lua, os planetas, que giravam independentemente.

Mesmo depois que o sistema copernicano alijou a Terra de sua posição central, a concepção que se tinha das estrelas permaneceu a mesma, por uns tempos. Elas continuavam sendo os mesmos objetos imóveis, brilhantes e fixos em uma esfera externa, enquanto o Sol era o centro da mesma esfera e os vários planetas, inclusive a Terra, o circundavam.

Entretanto, em 1718, o astrônomo inglês Edmund Halley (1656-1742), ao registrar a posição das estrelas, observou que pelo menos três delas — Sírius, Prócion e Arcturo — não se encontravam nos pontos registrados pelos gregos. A diferença era sensível; os gregos não poderiam ter cometido erro tão crasso. Parecia claro para Halley que essas estrelas haviam se movido em relação às outras. Desde então, um crescente número de estrelas tem apresentado esse "movimento próprio", à medida em que os instrumentos dos astrônomos ficam mais sensíveis à captação desses movimentos.

É claro que, se várias estrelas se movem pelo espaço com a mesma velocidade, a mudança de posição de uma estrela distante parece menor, a nossos olhos, que a mudança de uma estrela próxima. (A experiência nos ensinou que um avião lá no alto parece voar mais devagar que outro avião cá embaixo.) As estrelas estão tão longe que só as mais próximas apresentam um movimento próprio perceptível; a partir daí, parece lógico concluir que todas as estrelas se movem.

Naturalmente, o movimento próprio de uma estrela é simplesmente seu movimento através de nosso campo de visão. Uma estrela também poderia estar se movendo na nossa direção,

aproximando-se, ou afastando-se, movimento este que não nos pareceria um movimento próprio. Na verdade, ela poderia estar se movendo totalmente na vertical, de modo que nenhum movimento seria acusado em nosso campo de visão, embora ela até pudesse estar perto de nós.

Felizmente, graças ao efeito Doppler-Fizeau, descrito anteriormente, a velocidade de aproximação ou afastamento pode ser determinada; a "velocidade espacial" tridimensional, pelo menos das estrelas mais próximas, pode ser calculada.

E por que o Sol também não se move?

Em 1783, o astrônomo anglo-germânico William Herschel (1738-1822) estudou os movimentos próprios conhecidos na época. Parecia que as estrelas em um dos hemisférios celestes tendiam a se afastar umas das outras.

No outro hemisfério, tendiam a se aproximar. Herschel decidiu que o modo mais lógico de se explicar o fenômeno era supor que o Sol se movia numa determinada direção rumo à constelação de Hércules. As estrelas de que nos aproximávamos pareciam afastar-se e as que ficavam atrás de nós se aproximavam.

Quando os objetos celestes se movem pelo espaço, é bastante provável que um se mova em torno do outro — se estiverem próximos a ponto de seus campos gravitacionais sofrerem influências mútuas. Desse modo, a Lua gira em torno da Terra, enquanto a Terra e os outros planetas giram em torno do Sol. Da mesma forma, uma estrela de um sistema binário gira em torno da outra.

Se, no entanto, os objetos estão distanciados uns dos outros e não há um objeto que, por sua enorme massa, predomine sobre todos os outros (como o Sol predomina sobre todos os corpos menores do sistema solar), os movimentos não são uma simples circulação de um objeto ao redor do outro.

Em vez disso, parece que haveria um movimento quase que ao acaso, como o de abelhas num enxame. Durante todo o século XIX, parecia que tal movimento caracterizava as estrelas à nossa volta e, naquele tempo, não parecia ilógico supor-se que, nesses movimentos aleatórios, uma estrela poderia muito bem colidir com outra.

De fato, em 1880, o astrônomo inglês Alexander William Bickerton (1842-1929) sugeriu que essa poderia ter sido a forma como o sistema solar surgiu. Há muito tempo, pensou Bickerton, uma estrela passara pelo Sol e, por efeito gravitacional de um sobre o outro, algum material de ambos foi retirado, mais tarde condensando-se em planetas. As duas estrelas haviam se aproximado como corpos isolados e tinham partido, cada uma, com as origens de um sistema planetário. Esse era um dramático exemplo do que só se poderia descrever como uma violentação cósmica. Esta "teoria catastrófica" da origem do sistema solar foi mais ou menos aceita pelos astrônomos, com algumas modificações, durante mais de meio século.

Fica claro que, ao passo que tal catástrofe poderia assinalar o início do mundo para nós, se repetida, marcaria o fim catastrófico dele. Outra aproximação igual entre uma estrela e o Sol sujeitar-nos-ia, por muito tempo, ao crescente calor de uma segunda luminária próxima, enquanto o Sol se desestabilizaria de um modo ou de outro, pelo crescente efeito gravitacional sobre nós. Esse mesmo efeito produziria distúrbios progressivamente sérios na órbita da

Terra. Parece muito improvável que a vida pudesse suportar os enormes efeitos disso, nas condições da superfície terrestre.

Qual a probabilidade, então, de tal colisão acontecer?

Nenhuma. Com efeito, uma das razões por que a teoria catastrófica da origem do sistema solar não vingou é que ela implicava um evento improvável. Nos arredores da galáxia, onde estamos situados, as estrelas estão tão separadas e se movem tão devagar, comparado às imensas distâncias que as separam, que é mesmo difícil imaginar uma colisão.

Consideremos a Alfa de Centauro, a estrela mais próxíma de nós[17]. Ela está a uma distância de 4,4 anos-luz de nós, e está se aproximando mais. A sua trajetória não é em linha reta, pois move-se também de lado. O resultado é que, um dia, ela chegará à distância de 3 anos-luz daqui, ponto em que nos ultrapassará (sem se aproximar a ponto de nos afetar significativamente) e começará a retroceder.

Suponhamos que ela estivesse se aproximando em linha reta. A Alfa de Centauro se desloca pelo espaço com uma velocidade de 37 quilômetros por segundo. Se estivesse rumando diretamente em nossa direção, passaria pelo sistema solar daqui a 35 000 anos.

Por outro lado, suponhamos que a Alfa de Centauro estivesse se dirigindo a um ponto que distasse do Sol um arco de 15 minutos, distância que seria equivalente à metade da largura da Lua, tal como ela nos aparece.

Isso seria o mesmo que supor que estivéssemos tentando alvejar o centro do círculo lunar, mas errássemos e atingíssimos a Lua só de raspão. Se a pontaria da Alfa de Centauro não fosse melhor que isso, ela deixaria de nos atingir por 1/50 de ano-luz ou, aproximadamente, 180 bilhões de quilômetros. Isso seria trinta vezes a distância entre Plutão e o Sol. A Alfa de Centauro seria, então, uma estrela extraordinariamente brilhante, mas seus efeitos na Terra, a essa distância, seriam imperceptíveis.

Vejamos um outro modo de abordar o fenômeno. A distância média entre as estrelas em nossa porção da galáxia é de 7,6 anos-luz. A velocidade média a que elas se movem umas em relação às outras é de aproximadamente 100 quilômetros por segundo.

Vamos reduzir anos-luz a quilômetros e imaginar que as estrelas meçam 1/10 de milímetro de largura (guardadas as proporções reais). Essas minúsculas estrelas, mais parecidas com grânulos apenas visíveis, estariam distribuídas com uma distância média de separação de 7,6 quilômetros. Se vistas em um campo bidimensional, haveria catorze delas espalhadas pela área dos cinco bairros de Nova York.

Cada uma se movimentaria a uma velocidade (proporcionalmente reduzida) de 30 centímetros por ano. Imaginemos só esses catorze granulozinhos espalhados pelos cinco bairros e movendo-se 30 centímetros por ano em direções ao acaso, e perguntemo-nos qual a probabilidade de duas delas colidirem.

Calculou-se, para os arredores da galáxia, que a probabilidade de aproximação de duas estrelas é da ordem de uma em cada 5 milhões, durante os 15 bilhões de anos de vida da *galáxia.* Isso significa que, mesmo em 1 trilhão de anos antes do próximo ovo cósmico, há apenas uma probabilidade em 80 000 de que uma estrela se aproxime da nossa. Esse tipo de catástrofe do segundo grau é muito menos provável do que qualquer catástrofe do primeiro

grau — o que invalida quaisquer motivos de preocupação.

De qualquer modo, graças ao nosso atual conhecimento astronômico (sem contar com avanços futuros) seríamos avisados com antecedência caso houvesse uma possível colisão. As catástrofes, quando ocorrem, são muito mais perigosas quando surgem repentina e inesperadamente, sem nos permitir contra-atacar. Embora uma colisão estelar nos pegasse de surpresa agora, mesmo que tivéssemos sido notificados há milhares de anos, o mesmo pode não ocorrer no futuro (conforme explicarei adiante); de hoje em diante, podemos esperar que o aviso chegue com bastante tempo hábil para nos prepararmos a fim de evitar ou superar a ocorrência.

Por essas razões — a pouca probabilidade de que venha a ocorrer e o aviso com grande antecedência —, não tem sentido preocuparmo-nos com esta catástrofe em especial.

Note-se, de passagem, que não interessa que essa estrela invasora seja um buraco negro ou não. A destruição causada por um buraco negro não seria nem mais nem menos eficaz que a provocada por uma estrela comum.

Apesar disso, um buraco negro cuja massa fosse cem vezes maior que a do Sol poderia executar essa tarefa a uma distância dez vezes maior que a de uma estrela comum; assim, a precisão com que viesse a nos arrebatar não precisaria ser tão aguçada.

Entretanto, os buracos negros de grandes dimensões são tão raros que a probabilidade de sofrermos uma catástrofe causada por eles é milhões de vezes menor que a mínima probabilidade de o mesmo ocorrer por causa de uma estrela comum.

Com certeza, há outros objetos, além de estrelas, com possibilidades de uma aproximação catastrófica; tais objetos, em alguns casos, podem chegar sem mandar avisos. Voltaremos a esses casos no momento próprio.

ROTAÇÃO EM TORNO DO NÚCLEO GALÁCTICO

A improbabilidade de um encontro catastrófico do Sol com outra estrela tem uma de suas bases no fato de que as estrelas em nossa vizinhanças *não* se movem ao acaso como abelhas em um enxame. Talvez encontremos esse movimento aleatório no centro da galáxia ou no centro de uma aglomerado globular, mas não aqui.

Nos arredores da galáxia, a situação mais se parece com a do sistema solar. O núcleo galáctico, que cobre uma pequena área central da galáxia, tem uma massa dezenas de bilhões de vezes maior que a do Sol. Parte dela, logicamente, poderia ser o buraco negro central, desde que ele exista. Seu núcleo, agindo como um todo, funciona como o “sol” da galáxia.

Os bilhões de estrelas que compõem os arredores galácticos circundam o núcleo galáctico em órbita tal como os planetas circundam o Sol. O Sol, por exemplo, situado a 32 000 anos-luz do centro galáctico, circunda esse centro numa órbita aproximadamente circular, com velocidade de 250 quilômetros por segundo; uma translação completa dura aproximadamente

200 milhões de anos. Como o Sol se formou há mais ou menos 5 bilhões de anos, isso significa que ele já completou 24 ou 25 voltas em torno do centro galáctico, caso sua órbita tenha permanecido a mesma o tempo todo.

Naturalmente, as estrelas mais próximas ao centro galáctico movem-se mais rapidamente e completam a translação em menos tempo. Elas chegam a se aproximar de nós, mas passam, presumivelmente, a uma distância segura, para então retrocederem. Da mesma forma, as estrelas mais distantes do centro movem-se mais devagar e demoram mais tempo para completar a volta. Ao passarmos por elas, parecem aproximar-se, mas quando as ultrapassamos (presumivelmente a uma distância segura), elas retrocedem.

Se todas as estrelas se movessem em órbitas mais ou menos circulares, aproximadamente no mesmo plano, e com diferentes distâncias do eixo de translação (como ocorre com os planetas do sistema solar), jamais haveria uma colisão, ou mesmo uma quase-colisão. Aliás, no curso histórico de 15 bilhões de anos, as estrelas parecem ter-se organizado desse jeito, de modo que os arredores galácticos formam um anel chato (dentro do qual as estrelas estão distribuídas em um conjunto de estruturas espiraladas), cujo plano passa pelo centro do núcleo galáctico. A eficácia desse arranjo é demonstrada pelo fato de que o Sol completou 25 circuitos orbitários sem que indícios de desastres tenham sido registrados nos anais geológicos da Terra.

No entanto, há apenas nove grandes planetas no sistema solar, enquanto os arredores da galáxia se compõem de bilhões de grandes estrelas.

Apesar de a maioria das estrelas apresentar um comportamento orbitário regular, uma pequena porcentagem de dissidentes indica um bom número de estrelas cujas órbitas são problemáticas.

Algumas estrelas têm órbitas elípticas. Talvez a órbita de uma dessas estrelas se aproxime da nossa e, em determinado ponto, encontre-se pouco distante dela; pode ser, também, que toda vez que o Sol se encontre no ponto de tangência, a outra estrela esteja longe, e vice-versa. Mais cedo ou mais tarde, seria inevitável que o Sol e a outra estrela atingissem o ponto de tangência ao mesmo tempo e sofressem um encontro — mas isso só poderia acontecer daqui a muito tempo.

O pior é que as órbitas não permanecem constantes.

Quando duas estrelas se aproximam um pouco, aproximação esta insuficiente para desvirtuar o sistema planetário delas, o efeito gravitacional mútuo pode alterar um pouco a órbita de uma e de outra. Mesmo que o Sol não esteja envolvido nessa aproximação, ele pode ser afetado. Duas outras estrelas podem estar sofrendo o mesmo processo do outro lado da galáxia, por exemplo, e uma delas pode ter sua órbita alterada (ou "perturbada") de tal modo que seu potencial de aproximação do sistema solar aumente.

O inverso também é verdadeiro, naturalmente. Uma estrela que se aproxime demais do sistema solar pode desviar sua órbita e distanciar-se de nós.

As órbitas elípticas apresentam outro problema interessante. Uma estrela, cuja órbita seja elíptica, pode se encontrar em nossa parte da galáxia agora. Pode ser, porém, que, dentro de centenas de milhões de anos, ela tenha se locomovido para a outra ponta de sua órbita, a uma

distância muito maior do núcleo galáctico. Esta órbita elíptica, na qual a presente posição da estrela em nossa vizinhança é a mais próxima do núcleo galáctico, não é perigosa. Pouco ou nada vai acontecer com ela ali.

Por outro lado, uma órbita elíptica pode colocar uma estrela, nossa vizinha, em seu ponto mais distante. Daqui a 100 milhões de anos, ela pode mergulhar mais fundo na galáxia e aproximar-se mais ainda do núcleo galáctico. Isso seria um problema sério.

À medida em que as estrelas se aproximam do núcleo, o que implica órbitas menos regulares e estáveis, a distribuição estelar fica mais compacta.

O movimento para dentro aumenta a probabilidade de uma perturbação. A colisão na área central permanece como uma probabilidade remota, mas é sensivelmente maior que nos arredores. A probabilidade de uma aproximação que permita um deslocamento orbitário aumenta e torna-se gradualmente perceptível.

Pode acontecer que todas as estrelas periféricas, cujas órbitas elípticas aproximem-nas do núcleo, apareçam com sua órbita alterada. Essa nova órbita, se não era perigosa antes, pode sê-lo agora (ou vice-versa, é lógico).

Na verdade, uma perturbação dessas poderia nos afetar diretamente.

Já apresentei o caso de uma estrela passando por nós a uma distância equivalente a trinta vezes a distância entre o Sol e Plutão, o planeta mais longínquo. Disse que seu efeito sobre nós seria imperceptível. Não nos afetaria, no sentido de que as interferências do Sol ou as condições ambientais, sobre a Terra, não sofreriam conseqüências sérias. O oposto seria verdadeiro, caso ela passasse a uma distância de 1 ano-luz.

Apesar disso, uma estrela que passa pode não estar próxima de nós a ponto de causar problemas em razào do excesso de calor; ao mesmo tempo, pode ser que ela retarde ligeiramente o deslocamento do Sol em torno do centro galáctico. Neste caso, a órbita quase circular do Sol pode se tornar mais elíptica e avançar mais que nunca rumo ao núcleo galáctico, o que jamais ocorreu em suas últimas 24 translações.

Aproximando-se do núcleo galáctico, aumenta a probabilidade de uma irregularidade mais séria, o que pode levar a mudanças mais radicais. Por um infeliz acaso, pode acontecer que a órbita solar nos leve à região mais interna da galáxia, dentro de 1 bilhão de anos, digamos. Se isso ocorrer, o campo de radiação pode se fortalecer e eliminar toda forma de vida. Contudo, tal probabilidade é mínima — é o caso de uma possibilidade em 80 000, o que vale para o próximo trilhão de anos.

Essa probabilidade de um em 80 000 durante 1 trilhão de anos refere-se a estrelas vistas isoladamente. O que dizer dos aglomerados globulares?

Estes não se situam no plano galáctico, mas distribuem-se em torno do núcleo galáctico, formando uma esfera. Todo aglomerado globular translada em torno do núcleo galáctico, mas seu plano de translação, em relação ao plano galáctico, apresenta uma grande inclinação. Se um aglomerado globular encontra-se bem acima do plano galáctico, ao percorrer sua órbita, descerá inclinado, ultrapassará o plano galáctico, chegará até mais abaixo, e então subirá inclinado até atravessar novamente o plano galáctico e colocar-se onde se encontra agora.

Se a distância de um aglomerado globular até o núcleo galáctico é idêntica à nossa, isso quer

dizer que uma vez em 100 milhões de anos ele atravessará o plano galáctico. Caso a distância seja menor ou maior, o intervalo também será respectivamente menor ou maior. Como há cerca de duzentos aglomerados, espera-se que um aglomerado qualquer atravesse o plano galáctico uma vez a cada 500 000 anos em média, caso a distância entre o núcleo galáctico e os aglomerados globulares seja a mesma do sistema solar.

A área de um corte transversal de um aglomerado globular é 1 quatrilhão de vezes maior que a de uma estrela qualquer. Além disso, a possibilidade de uma colisão entre um aglomerado e uma estrela e uma estrela e outra segue a mesma proporção.

Na verdade, a própria natureza das colisões seria diferente. Se o Sol fosse atingido por uma estrela, isso seria um caso óbvio de colisão. Se, por outro lado, fosse atingido por um aglomerado globular, talvez nem houvesse uma verdadeira colisão. Apesar de parecer cheio de estrelas a longa distância, o aglomerado é composto por um enorme espaço vazio. Se o Sol atravessasse um aglomerado galáctico ao acaso, a probabilidade de colidir com uma das estrelas do aglomerado seria de uma em cada 1 trilhão de tentativas. (Probabilidade que é quase inexistente, mas muito maior do que se o Sol tivesse que cruzar os arredores galácticos somente com outras estrelas singulares — como acontece agora.)

Mesmo assim, embora seja improvável que um aglomerado galáctico venha a prejudicar o Sol fisicamente, no caso de uma colisão, ou mesmo afetar a Terra pela luz ou pelo calor, isso poderia resultar em uma alteração prejudicial da órbita solar.

A possibilidade de uma alteração aumentaria à medida em que a colisão se tornasse mais iminente, de modo que a travessia do Sol pelo aglomerado globular o levaria mais próximo ao centro do aglomerado. Não só o arranjo de estrelas fica mais compacto no centro, o que aumenta a probabilidade de alterações e colisões, mas também o Sol poderia se aproximar de um buraco negro com a massa incalculável que se concentra ali.

A probabilidade de uma perturbação orbitária, ou mesmo de uma captura, poderia ser séria. Mesmo que não o fosse, a radiação energética na região de um buraco negro poderia eliminar a vida na Terra, sem sequer interferir na estrutura física do planeta.

A probabilidade de uma ocorrência dessa natureza é pequena. Não há muitos aglomerados globulares; só nos oferecem perigo aqueles que atravessam o plano galáctico entre a Terra e o núcleo galáctico, o que representa uma margem de 12 anos-luz de distância. Quando muito, um ou dois farão isso, e a probabilidade de o Sol estar próximo dessa área no momento da travessia é mínima.

Além disso, a colisão de um aglomerado globular conosco é menos ameaçadora do que seria a aproximação de uma única estrela. Um aglomerado globular é um objeto muito mais proeminente do que uma estrela, quando ambos estão à mesma distância. Se um aglomerado globular estivesse nos ameaçando de uma colisão, seríamos notificados com 1 milhão de anos de antecedência.

MINIBURACOS NEGROS

No que diz respeito a colisões com objetos visíveis, *sabemos* que o Sol está a salvo por milhões de anos. Nada que seja visível se aproxima de nós de modo a nos atingir antes disso. Será que não há objetos no espaço cuja existência desconhecemos? Não haverá nada que esteja se aproximando, ou que se encontre em vias de colisão com o Sol, sem sequer nos notificar? E o que dizer dos buracos negros do tamanho do Cygnus X-1? (Buracos negros não-gigantescos como os que ficam no centro das galáxias e dos aglomerados globulares, e que lá permanecem, mas pequenos como estrelas e que vagueiam em órbitas em torno dos centros galácticos.) O Cygnus X-1 revela sua presença pela imensa quantidade de matéria que absorve de sua estrela vizinha, a qual é perfeitamente visível. Entretanto, suponhamos que um buraco negro tenha se formado pela desintegração de uma estrela isolada.

Digamos que a massa desse buraco negro uniestelar seja cinco vezes maior que a do Sol e que seu raio seja de 15 quilômetros. Não há uma estrela vizinha cuja presença altere isso — nenhuma que lhe forneça massa ou produza irradiação de raios X. Haveria somente as finas nuvens gasosas entre as estrelas para alimentá-lo, o que produziria simplesmente uma faísca de raios X, imperceptível a qualquer distância.

Um buraco negro desses pode estar a 1 ano-luz daqui e não ser notado por ser fisicamente insignificante e inativo, do ponto de vista das radiações.

Ele poderia estar se dirigindo rumo ao Sol sem que nos déssemos conta disso. E poderíamos permanecer ignorando isso até que estivesse quase sobre nossa cabeça e seu campo gravitacional começasse a introduzir perturbações inesperadas em nosso sistema planetário, ou quando uma tênue fonte de raios X fosse detectada. Seríamos notificados do fim do mundo com um prazo de apenas alguns anos. Mesmo atravessando o sistema solar sem colidir, seu campo gravitacional poderia massacrar a harmoniosa mecânica celeste do sistema solar.

Há alguma probabilidade de isso ocorrer? Não muita. Só uma enorme estrela pode contrair-se em um buraco negro; e não há muitas estrelas enormes. Na melhor das hipóteses, a proporção deve ser de um buraco negro do tamanho de uma estrela para cada 10 000 estrelas visíveis. Como a probabilidade de colisão de uma estrela com o Sol é de um em 80 000 no espaço de 1 trilhão de anos, a de ela ocorrer com um buraco negro do tamanho de uma estrela é de um em 800 milhões. Poderia ocorrer no ano que vem, mas a chance é de um em 1 sextilhão; não seria razoável preocuparmo-nos com essa possibilidade.

Parte do motivo de tão irrisória possibilidade é o fato de haver tão poucos buracos negros do tamanho de uma estrela. Bem se sabe, contudo, que dentre quaisquer tipos de corpos celestes, as espécies menores são mais numerosas que as grandes. Sendo assim, não haveria muito mais buracos negros pequenos do que grandes? Um buraco negro pequeno poderia não causar tantos danos quanto um grande, mas certamente os causaria; como os menores deles são mais numerosos, a possibilidade de choque aumenta assustadoramente.

No universo atual, no entanto, é muito improvável encontrar buracos negros cujas massas sejam várias vezes menores que a do Sol. Uma grande estrela pode comprimir-se em um buraco negro sob a força de seu campo gravitacional; porém, não é essa força que determina tal transformação; antes, esta última é dependente do tamanho do objeto; assim, um objeto menor que uma grande estrela não está tão sujeito a transformar-se em um buraco negro.

Contudo, isso não põe um fim ao perigo. Em 1974, o físico inglês Stephen Hawking sugeriu que, por ocasião da grande explosão, o turbilhão de massas de matéria e radiação teria produzido incríveis pressões, as quais, nos primeiros momentos da formação do universo, deram origem a inúmeros buracos negros com as mais variadas massas: desde as grandes, como a de uma estrela, até as minúsculas, de 1 quilo ou menos. Os buracos negros cujas massas eram menores que a de uma estrela foram denominados por Hawking "miniburacos negros".

Os cálculos de Hawking demonstraram que os buracos negros, na verdade, não retêm toda a sua massa; a fuga de matéria *é* possível.

Aparentemente, é possível que pares de partículas subatômicas se formem no ponto do raio Schwarzschild e saltem em direções opostas. Uma das partículas é recuperada pelo buraco negro, mas a outra escapa. Esse constante escape de partículas subatômicas faz com que o buraco negro funcione como se tivesse alta temperatura e evaporasse vagarosamente.

Quanto menos maciço é um buraco negro, mais alta é sua temperatura, e mais rápida será a evaporação. Isso significa que, enquanto um miniburaco negro encolhe pelo efeito da evaporação, sua temperatura vai aumentando, assim como aumenta constantemente o índice de evaporação, até que o último quinhão de buraco negro saia com força explosiva e desapareça.

Os miniburacos negros de pequenas proporções não teriam perdurado ao longo da história de 15 bilhões de anos do universo; já teriam desaparecido completamente. Porém, se a massa de certo miniburaco negro fosse maior que a de um *iceberg,* ele poderia ser frio o suficiente e estar evaporando tão devagar que ainda poderia existir. Se, ao longo de sua existência, ele tivesse captado alguma massa, o que é provável, teria se esfriado mais ainda, o que aumentaria sua vida útil[18].

Mesmo admitindo o desaparecimento dos menores (e mais numerosos) miniburacos negros, talvez ainda haja muitos deles com massas comparáveis à de um asteróide ou mesmo à da Lua. Hawking calculou a existência de trezentos miniburacos negros por ano-luz cúbico na galáxia.

Caso eles sigam a distribuição da matéria, a maioria deve estar no núcleo galáctico. Nas nossas imediações, não deve haver mais que trinta miniburacos negros por ano-luz cúbico. Isso dá uma estimativa da distância média entre os miniburacos negros: quinhentas vezes a distância do Sol a Plutão. O miníburaco negro mais próximo de nós deve distar 1,6 trilhão de quilômetros.

Mesmo a essa distância (muito perto, pelo padrão astronômico), há muito espaço para eles se movimentarem e pouca probabilidade de causarem estragos. Um miniburaco negro precisa ter uma pontaria certeira para poder causar danos; um grande buraco negro, não. Um grande buraco negro poderia passar longe do Sol. Porém, ao aproximar-se do sistema solar, poderia produzir efeitos que alterariam as propriedades do Sol. Poderia, até mesmo, perturbar seriamente a órbita solar, com resultados desvantajosos; ou, a propósito, perturbar a órbita terrestre de forma desastrosa.

Por outro lado, um miniburaco negro poderia atravessar o sistema solar sem deixar marcas, quer no Sol, quer nos planetas principais ou nos satélites. Alguns já passaram por nós e uns poucos podem até ter se movimentado entre os planetas sem nos causar problemas.

O que aconteceria, porém, se um miniburaco negro se chocasse contra o Sol? No tocante à massa, os efeitos não seriam sérios. Mesmo que ele tivesse a massa da Lua, essa seria 1/26 000 000 da do Sol — aproximadamente o que um décimo de gota d'água significaria para nós.

Porém, não é só a massa que influi. Se fosse a Lua que estivesse para colidir com o Sol, ela evaporaria antes de atingi-lo, a menos que se movesse demasiadamente rápido. Mesmo que uma parte permanecesse sólida na hora da colisão, ela não penetraria muito fundo antes de evaporar.

Entretanto, um miniburaco negro não evaporaria nem seria afetado pelo Sol. Ele simplesmente penetraria e absorveria massa pelo caminho, com conseqüente produção de energia. Aumentaria de tamanho, atravessaria o Sol e despontaria bem maior do que no início da penetração.

É difícil prever que efeito causaria no Sol. Se o miniburaco negro atingisse o Sol de raspão e atravessasse apenas as camadas externas, o efeito poderia não ser fatal. Se, porém, o miniburaco negro atingisse o Sol bem no meio e penetrasse pelo centro, ele atingiria a região do Sol em que ocorrem reações nucleares e onde as energias solares são produzidas.

Não sei o que aconteceria; dependeria de como o Sol conseguisse "curar-se". É bem possível que a produção de energia fosse interrompida e que o Sol desmoronasse ou explodisse antes que a produção reiniciasse. De qualquer forma, se acontecesse inesperada e rapidamente, seria a catástrofe absoluta para nós.

De fato, suponhamos que o miniburaco negro atingisse o Sol a uma baixa velocidade. A resistência que encontraria ao atravessar a substância solar poderia retardá-lo de modo que ele não pudesse sair: ficaria preso no Sol, ligado a seu centro.

E daí? Por acaso ele consumiria a matéria do Sol em seu interior? Em caso afirmativo, não poderíamos fazer distinções olhando de fora. O Sol continuaria com a mesma massa e o mesmo campo gravitacional; os planetas continuariam a circundá-lo regularmente; e o Sol poderia emitir suas energias como se nada estivesse acontecendo. Mas chegaria a um ponto crucial em que não haveria matéria normal suficiente para garantir a forma atual do Sol. Ele expiraria e se transformaria num buraco negro, com a emissão de uma vasta quantidade de radiação letal, que eliminaria a vida na Terra. Ou então, mesmo que sobrevivêssemos à invasão de radiação, a Terra estaria circulando um buraco negro com toda a massa do Sol (tanto que a órbita da Terra não se alteraria), mas pequeno demais para ser visto e sem a emissão de radiação. A temperatura da Terra cairia até quase o zero absoluto, e isso nos mataria.

Será que um miniburaco negro já não atingiu o Sol há 1 milhão de anos e está agindo desde então? Será que o Sol poderia expirar a qualquer momento, sem aviso prévio?

Não podemos jurar que não, mas lembremo-nos de que a probabilidade de um choque é muito pequena, mesmo com os inúmeros miniburacos negros supostos por Hawking; a probabilidade de atingir o centro solar é menor ainda; a de atingir o Sol no meio e a uma baixa velocidade de forma que o miniburaco negro seja capturado é menor ainda.

Além do mais, os números de Hawking representam um teto. É bastante provável que os miniburacos negros existam em menor número e sejam bastante escassos mesmo. Isso

diminuiria consideravelmente o perigo.

Aliás, não há quaisquer evidências de miniburacos negros, à exceção dos previstos por Hawking. Nunca se descobriu um miniburaco negro; nem se descobriu um problema cuja explicação implicasse um miniburaco negro (mesmo a existência de grandes buracos negros como Cygnus X-l depende de evidências que ainda não convenceram a todos os astrônomos).

Devemos obter maiores informações sobre o universo antes de evidenciarmos a probabilidade desse tipo de catástrofe, mas podemos estar certos de que há mais indícios favoráveis à idéia contrária. Afinal de contas, o Sol existe há 5 bilhões de anos, sem que tenha desmoronado; nem sequer observamos uma estrela apagar-se como se tivesse finalmente sido engolida por um miniburaco negro em seu centro.

ANTIMATÉRIA E PLANETAS LIVRES

Um buraco negro solitário não é o único objeto no universo que poderia passar por nós às escondidas. Há um outro tipo de objeto não perigoso, mas cuja existência é até mais problemática.

A matéria à nossa volta consiste em átomos formados de minúsculos núcleos circundados por elétrons. Os núcleos são formados por dois tipos de partículas, os prótons e os nêutrons, cada um dos quais *é* mais maciço que os elétrons cerca de 1 800 vezes. Assim, a matéria à nossa volta é composta por três tipos de partículas subatômicas: os elétrons, os prótons e os nêutrons.

Em 1930, Paul Dirac (o primeiro a conjeturar que a gravidade pode se enfraquecer com o tempo) demonstrou que, na teoria, deveriam existir “antipartículas”. Deveria haver, por exemplo, uma partícula como o elétron, mas com carga elétrica oposta. Enquanto o elétron tivesse carga elétrica negativa, sua antipartícula teria carga positiva. Dois anos depois, o físico americano Carl David Anderson (1905-) realmente descobriu esse elétron carregado positivamente. Foi chamado de “pósitron”, embora se possa fazer referência a ele como sendo um “antielétron”.

No devido tempo, o “antipróton” e o “antinêutron” também foram descobertos. O próton tem carga elétrica positiva e o antipróton, negativa. O nêutron não tem carga, nem o antinêutron, mas são opostos em certas outras propriedades. Os antielétrons, os antiprótons e os antinêutrons reúnem-se para formar os “antiátomos”, que se aglutinam para formar a “antimatéria”.

Se um antielétron se encontrar com um elétron, eles se anularão: as propriedades de um anularão as propriedades opostas do outro, e a massa dos dois será convertida em energia sob a forma de “raios gama”. (Raios gama são semelhantes aos raios X, porém com ondas mais curtas, e, portanto, são mais energéticos.) Da mesma forma, um antipróton e um próton podem se anular, o mesmo acontecendo com um antinêutron e um nêutron. De modo geral, a antimatéria pode anular uma massa equivalente de matéria, caso as duas se encontrem.

A quantidade de energia liberada em tais “anulações mútuas” é enorme. A fusão de hidrogênio, assim como explode nossas bombas de hidrogênio e dá propulsão mecânica às estrelas, pode converter aproximadamente 0,7 por cento da matéria fundida em energia. Porém, a anulação mútua converte 100 por cento da matéria em energia. Assim, uma bomba de matéria-antimatéria seria 140 vezes mais poderosa que uma bomba de hidrogênio com a mesma massa.

Funciona, porém, o inverso. É possível converter energia em matéria.

Entretanto, assim como se necessita de uma partícula e uma antipartícula para produzir energia, esta, quando convertida em matéria, sempre produz uma partícula e sua correspondente antipartícula. Tal processo parece não ser reversível.

Em laboratório, o físico pode produzir partículas e antipartículas aos poucos, mas no período seguinte à grande explosão, a energia se converteu em matéria em uma quantidade suficiente para formar todo um universo. Se esse fenômeno aconteceu, contudo, a mesma quantidade de antimatéria deve ter se formado. E, como deve ter realmente acontecido, onde está a antimatéria?

No planeta Terra, só há matéria. Algumas antipartículas podem ser produzidas em laboratório, ou encontradas em raios cósmicos, mas não perfazem grande quantidade. As antipartículas desaparecem de vez, tão logo encontram as partículas equivalentes, emitindo raios gama na anulação mútua que se segue.

Ignorando-se esses casos triviais, podemos dizer que toda a Terra é composta de matéria. Se uma metade fosse composta de matéria e a outra de antimatéria, uma acabaria por anular a outra instantaneamente, e não haveria Terra — só um globo incandescente de raios gama. Aliás, está claro que todo o sistema solar — toda a galáxia, inclusive todo o aglomerado local — é matéria. Caso contrário, constataríamos uma produção maior de raios gama.

Será que alguns aglomerados galácticos são matéria e outros, antimatéria? Será que dois universos se formaram por ocasião da grande explosão, sendo um de matéria e outro de antimatéria? Não sabemos. O paradeiro da antimatéria ainda é um enigma. No entanto, se há aglomerados galácticos e aglomerados antigalácticos, ambos se mantêm íntegros porque o universo em expansão os separa a distâncias cada vez maiores.

Será que, por causa de algum acontecimento fortuito, algum pedaço de antimatéria pode ser lançado de um aglomerado antigaláctico e acabar adentrando um aglomerado galáctico, ou que um certo pedaço de matéria seja lançado de um aglomerado galáctico e acabe adentrando um aglomerado antigaláctico?

Uma antiestrela em nossa própria galáxia poderia não se fazer reconhecer como tal unicamente por causa da aparência externa, caso não houvesse nada mais que vácuo interestelar ao seu redor. Mesmo que isso ocorresse, ela ocasionalmente emitiria raios gama, quando as partículas de matéria encontradas no espaço se chocassem com as partículas de antimatéria lançadas pelas estrelas e sofressem anulação mútua. Nenhum desses fenômenos foi observado ainda, mas os corpos pequenos são mais numerosos e mais facilmente detonáveis do que os grandes, o que significa que poderia haver, na galáxia, objetos do tamanho de asteróides ou planetas compostos de antimatéria.

Poderia algum deles atingir o Sol sem aviso prévio? Afinal de contas, o objeto poderia ser invisível a grandes distâncias. Mesmo que fosse visto, poderia não ser identificado como antimatéria até o momento do choque.

Entretanto, não há motivos para nos preocuparmos com essas coisas.

Ainda não temos indícios que nos levem a supor a presença de antimatéria perambulando pela nossa galáxia. Mesmo que existisse, a probabilidade de se chocar contra o Sol seria igual à dos miniburacos negros.

Mesmo que uma porção de antimatéria atingisse o Sol, o dano produzido seria muito mais limitado que o provocado por um miniburaco negro de mesma massa. O miniburaco negro é permanente e poderia avolumar-se indefinidamente às custas do Sol; a porção de antimatéria, por outro lado, cuidaria de anular uma parte do Sol equivalente à sua própria massa, e então ela desapareceria.

Ainda resta um terceiro tipo de objetos que poderiam se aproximar da vizinhança do sistema solar sem serem vistos muito antes de sua chegada.

Não são buracos negros, nem antimatéria, mas sim objetos comuns que fugiram à nossa atenção apenas por serem muito pequenos.

Poderíamos discutir sua existência da seguinte maneira: Já disse que, em qualquer tipo de corpos celestes, os menores são mais numerosos.

Portanto, as estrelas maiores são menos numerosas que as pequenas.

As estrelas do tamanho do Sol (de porte médio) perfazem 10 por cento de todas as estrelas visíveis. As estrelas gigantes, com massas quinze vezes superiores à do Sol, são muito mais raras. Há cem estrelas do tamanho do Sol para cada estrela gigante. Por outro lado, as estrelas com a metade da massa do Sol (ou menos) perfazem três quartos das estrelas do universo, a julgar por sua ocorrência em nossas vizinhanças{19}.

Um corpo que tenha uma massa equivalente a um quinto da do Sol mal dá para romper os átomos centrais e iniciar reações nucleares. Um corpo desses torna-se levemente vermelho-incandescente e mal pode ser visto, mesmo se estiver perto de nós, em termos de distâncias estelares.

Ainda assim, não há razões para se supor a existência de um limite inferior na formação de objetos, nem que esse limite coincida com a massa que inicia reações nucleares. Pode ser que se tenham formado algumas “subestrelas” — corpos pequenos demais para produzir reações nucleares ou que as produzem só até o ponto de aquecimento inferior ao grau de vermelho-incandescente.

Reconheceríamos tais corpos sem brilho como sendo planetas, caso fizessem parte de um sistema solar, e talvez devamos concebê-los assim: como planetas que se formaram independentemente e não estão ligados a qualquer estrela, mas que circundam o núcleo galáctico independentemente.

Esses “planetas livres” podem ter-se formado em número bastante superior ao das estrelas e podem ser objetos comuns — e ainda permanecerem invisíveis para nós, assim como o seriam os planetas de nosso sistema solar, por mais perto que estejam, caso não refletissem a luz de

um sol próximo.

Qual a probabilidade de um desses planetas livres adentrar o sistema solar, provocando uma devastação?

Os maiores planetas livres deveriam ser tão comuns quanto as estrelas menores, mas, considerando-se a vastidão do espaço interestelar, é pequena a probabilidade de que nos encontrem. Os planetas livres pequenos deveriam ser mais numerosos, e os menores ainda, muito mais numerosos. Ocorre que, quanto menor for um objeto desses, maior será a probabilidade de seu encontro com o sistema solar.

É bastante provável que a invasão do sistema solar pelos planetas livres do tamanho de asteróides seja mais iminente que a invasão pelos problemáticos miniburacos negros ou pela antimatéria. Mesmo assim, os planetas livres são muito menos perigosos do que qualquer um desses objetos. Os miniburacos negros absorveriam a matéria indefinidamente, caso atingissem o Sol, enquanto a antimatéria anularia a matéria. Os planetas livres, compostos de matéria comum, meramente evaporariam.

Se nos fosse dado tomar conhecimento de um asteróide rumando para um contato com o Sol, poderíamos sentir-nos incapazes de identificar se o objeto seria um invasor proveniente do espaço interestelar ou uma das muitas variedades vizinhas nossas ainda não descobertas, ou que a sua órbita houvesse sido perturbada de modo a causar uma colisão.

Pode ser que tais invasores tenham atravessado o sistema solar inúmeras vezes sem causar quaisquer danos. Alguns pequenos objetos da parte mais externa do sistema solar, cujas órbitas são irregulares, podem perfeitamente ser planetas livres capturados durante a sua trajetória. Dentre estes poderiam constar Nereida, satélite de Netuno; Febe, o satélite mais externo de Saturno; e o curioso objeto Quirão, descoberto em 1977, que circunda o Sol numa órbita elíptica entre as de Saturno e Urano.

Pelo que se sabe, aliás, Plutão e seu satélite (descoberto em 1978) podem ter sido um pequeno “sistema solar” independente que foi capturado pelo Sol. Isso tornaria menos surpreendentes a inclinação incomum e a excentricidade da órbita de Plutão.

Resta ainda um outro tipo de encontro com objetos no espaço interestelar — objetos tão pequenos que não passam de partículas de poeira ou mesmo átomos independentes. As nuvens interestelares de poeira e gás são comuns no espaço, e não apenas o Sol pode “colidir” com esses objetos, como também já o fez em ocasiões passadas. O efeito de tais colisões sobre o Sol é aparentemente negligenciável, mas o mesmo não ocorre conosco. Isso *é* assunto a que pretendo voltar em momento mais adequado.

6 — A MORTE DO SOL

A FONTE DE ENERGIA

As possíveis catástrofes do segundo grau, provocadas pela invasão de nosso sistema solar por objetos vindos do exterior, comprovadamente não trazem conseqüências importantes. Em alguns casos, elas têm probabilidade tão remota que é bem mais possível que sejamos antes destruídos por uma catástrofe do primeiro grau, como a formação de um novo ovo cósmico. Em outros casos, as invasões poderiam parecer mais prováveis, porém menos potencialmente perigosas quanto a danos solares.

Podemos então eliminar a possibilidade dos danos causados por catástrofes do segundo grau? Podemos crer que nosso Sol está eternamente a salvo — ou pelo menos enquanto o universo existir?

De jeito nenhum. Mesmo se não houver intervenções externas, há razão para se supor que o Sol não está a salvo e que uma catástrofe do segundo grau, envolvendo a própria integridade do Sol, não somente é possível, como também, inevitável.

Em épocas pré-científicas, o Sol era geralmente visto como um deus bondoso de cuja luz e calor a humanidade e, na realidade, toda forma de vida dependiam. Seus movimentos nos céus eram observados constantemente; era bem conhecido seu trajeto, traçado cada dia mais alto até atingir o pico a 21 de junho (solstício de verão no hemisfério norte), após o quê, ia descendo progressivamente até atingir o ponto mais baixo a 21 de dezembro (solstício de inverno), repetindo-se novamente o ciclo.

Mesmo em culturas pré-históricas parece terem existido formas consideravelmente precisas de verificação da posição do Sol; as pedras de Stonehenge, por exemplo, dão a impressão de terem sido alinhadas de modo a demarcar, entre outras coisas, a época do solstício de verão.

Naturalmente, antes de a verdadeira natureza dos movimentos e orientação da Terra ser compreendida, era impossível deixar de acreditar que em algum ano específico o Sol, à medida em que baixava em direção ao solstício de inverno, não continuaria a baixar indefinidamente, desapareceria e poria fim a toda vida. Assim, nos mitos escandinavos, o fim dos tempos tem por arauto o Fimbulwinter, quando o Sol desaparece, deflagrando um terrível período de escuridão e frio que dura três anos — após ele, sobrevêm Ragnarok e o fim. Até em regiões mais ensolaradas, onde a fé nos perpétuos benefícios do Sol seria naturalmente mais fortalecida, a época do solstício de inverno — quando o Sol cessava seu declínio, virava e começava a ascender nos céus mais uma vez — era ocasião de profundas efusões de alívio.

A celebração do solstício mais conhecida por nós é a dos antigos romanos. Eles acreditavam que seu deus da agricultura, Saturno, tinha governado a terra durante uma época passada de ricas plantações e fartura de comida. A semana do solstício de inverno, pois, com suas

promessas de retorno do verão e dos tempos auspiciosos da agricultura saturnina, era celebrada com as saturnais, de 17 a 24 de dezembro. Era uma época de ininterruptas festas e alegrias. As lojas fechavam, de modo que nada pudesse interferir na celebração, e distribuíam-se presentes. Essa era uma época de fraternidade, onde servos e escravos eram temporariamente libertados e recebiam permissão para juntar-se a seus amos para a celebração.

As saturnais não desapareceram. Mesmo depois de ter fortalecido seu poder no Império Romano, o cristianismo descobriu serem vãs suas tentativas de derrubar a alegria paga pelo nascimento do Sol. Então, um pouco após 300 d.C, o cristianismo absorveu a celebração declarando arbitrariamente 25 de dezembro como a data do nascimento de Jesus (data que absolutamente não é apresentada em qualquer passagem bíblica). A celebração do nascimento do Sol foi, pois, convertida em celebração do nascimento do Filho.

É claro que as crenças cristãs não poderiam permitir o endeusamento de qualquer objeto do mundo visível; assim, o Sol foi destituído de sua posição divina. Destituição mínima, essa, pois o Sol era considerado uma perfeita esfera de luz celestial, imutável e eterna, desde o tempo em que Deus a criara no quarto dia da Criação até aquele incerto futuro quando Deus se resolvesse a dar-lhe fim. Enquanto existisse, era, em seu brilho e sua perfeição imutável, o mais significativo símbolo visível de Deus.

A primeira intromissão da ciência nesse quadro mítico do Sol foi a descoberta de Galileu, em 1609, acerca da existência de manchas no Sol.

Suas observações mostraram claramente que as manchas eram parte da superfície solar, não nuvens obscurecendo essa superfície. O Sol não mais era perfeito. Dúvidas passaram a ser levantadas com respeito a sua eternidade. Quanto mais os cientistas aprendiam sobre a energia na Terra, mais se questionavam sobre a fonte de energia solar.

Em 1854, Helmholtz, um dos importantes descobridores da lei da conservação de energia, chegou à conclusão de que era vital descobrir a fonte da energia do Sol, senão a lei da conservação não poderia mais manter seu caráter explicativo. Pareceu-lhe razoável que essa fonte fosse o campo gravitacional. O Sol, sugeriu ele, estava se contraindo uniformemente sob a força da própria gravidade, e a energia desse movimento se convertia em radiação. Se isso era verdade e se o suprimento de energia do Sol era finito (como tudo indicava ser), então deveria haver tanto um início como um fim do Sol{20}.

A lei da conservação de energia significa, portanto, que o Sol deve nascer e morrer; em outras palavras, houve um tempo em que o Sol não era o objeto conhecido de hoje, e haverá um tempo em que ele não será mais o objeto conhecido de hoje. Tudo o que se pode questionar são os detalhes do processo.

De acordo com a hipótese de Helmholtz, no início o Sol deve ter sido uma nuvem gasosa muito tênue, cuja vagarosa contração sob um campo gravitacional ainda não muito intenso produziria pouca energia radiante. Foi só à medida em que a contração prosseguia, e o campo gravitacional, se bem que com a força total original, se concentrava num volume menor e, portanto, mais intenso, que a contração se tornou suficientemente rápida para produzir o tipo de energia que agora conhecemos.

Foi só há 25 milhões de anos que o Sol se contraiu até o diâmetro de 300 milhões de quilômetros, e só depois disso é que ele se encolheu até ficar menor que a órbita da Terra. Foi em algum momento há menos de 25 milhões de anos que a Terra poderia ter se formado.

No futuro, o Sol teria que morrer, pois chegaria a um ponto onde não mais poderia contrair-se e então sua fonte de energia seria consumida e não poderia mais irradiar-se; ao invés disso, ele se resfriaria e se transformaria num corpo frio e morto — o que certamente configuraria uma catástrofe definitiva para nós. Considerando que o Sol levou 25 milhões de anos para se contrair da dimensão da órbita terrestre para o tamanho atual, pensar-se-ia que ele atingiria o nada daqui a cerca de 250 000 anos, que seria então o tempo restante de vida terrestre.

Os geólogos que estudaram as mudanças muito lentas da crosta terrestre concluíram que a Terra deveria ter mais de 25 milhões de anos de idade. Biólogos que estudaram as transformações igualmente lentas da evolução biológica também se convenceram disso. Todavia, parecia não haver escapatória para o raciocínio de Helmholtz a não ser o de se negar a lei da conservação de energia, ou encontrar uma nova e maior fonte de energia para o Sol. Foi a segunda alternativa que resolveu o impasse. Uma nova fonte energética foi descoberta.

Em 1896, o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descobriu a radioatividade; dessa descoberta, depreendeu-se que existia um suprimento energético extraordinariamente grande dentro do núcleo do átomo. Se de algum modo o Sol pudesse abrir o registro desse suprimento energético, não se faria necessário supor que ele estivesse todo o tempo se encolhendo. O Sol poderia irradiar às custas da energia nuclear por períodos extensos, talvez, sem modificar muito seu tamanho.

Não é o simples fato de o Sol (e, por extensão, as estrelas de modo geral) ser ativado por energia nuclear que garante a veracidade e a aplicabilidade disso. Como essa energia nuclear se faz disponível para o Sol?

Em 1862, o físico sueco Anders Jonas Angstrõm (1814-74) encontrou hidrogênio no Sol através do espectroscópio. Com o tempo, descobriu-se que esse elemento, que é o mais simples dentre todos, era muito comum no Sol.

Em 1929, o astrônomo americano Henry Norris Russell (1877-1957) demonstrou que, de fato, o Sol era predominantemente formado de hidrogênio. Agora sabemos que ele contém 75 por cento de hidrogênio e 25 por cento de hélio (o segundo elemento mais simples), além de outros átomos mais complexos presentes em pequenas quantidades de frações de 1 por cento. Apenas esse fato já evidencia que, se ocorrem no Sol reações nucleares que sejam responsáveis por sua energia radiante, essas reações devem envolver hidrogênio e hélio. Nada mais está presente em quantidade suficiente para ter algum papel significativo.

Enquanto isso, no início da década de 20, o astrônomo inglês Arthur S. Eddington (1882-1944) demonstrou que a temperatura no centro do Sol era de milhões de graus. A tal temperatura, os átomos se rompem, os elétrons fronteiriços se desemparelham e os núcleos soltos podem chocar-se uns com os outros com tanta força que dão início a reações nucleares.

O Sol realmente começa como uma tênue nuvem de gás e poeira, como afirmou Helmholtz. Ele realmente se contrai vagarosamente, desprendendo energia radiante no processo. Mas é só quando ele encolhe até a dimensão do seu atual tamanho que seu centro fica suficientemente quente para iniciar as reações nucleares e começar a brilhar como hoje. Uma vez atingido esse

ponto, ele mantém seu tamanho e intensidade radiante por longo tempo.

Finalmente, em 1938, o físico germano-americano Hans Albrecht Bethe (1906-), usando dados de laboratório relativos a reações nucleares, mostrou a provável natureza das reações que acontecem no centro do Sol para a produção da sua energia. Isso envolve a conversão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio ("fusão de hidrogênio"), através de várias etapas bem definidas.

A fusão de hidrogênio prove quantidade adequada de energia para manter o Sol brilhando na proporção atual por extenso período de tempo. Os astrônomos acham muito satisfatório o fato de o Sol estar brilhando assim há quase 5 bilhões de anos. Aliás, vê-se agora que a Terra, o Sol e o sistema solar em geral vêm existindo como se apresentam hoje há cerca de 4 bilhões de anos. Isso satisfaz os pré-requisitos de tempo necessário para as mudanças observadas pelos geólogos e biólogos.

Isso também significa que o Sol, a Terra, todo o sistema solar, enfim, pode continuar a existir (se não ocorrerem interferências externas) por muitos bilhões de anos.

GIGANTES VERMELHAS

Muito embora a energia nuclear ative o Sol, isso meramente adia o fim. Embora o suprimento energético dure bilhões, em vez de milhões, de anos, ele deve um dia terminar.

Até a década de 40, admitia-se que, qualquer que fosse a fonte da energia solar, a gradual diminuição dessa fonte significava que o Sol finalmente se resfriaria e escureceria a ponto de a Terra se congelar num interminável Fimbulwinter. Todavia, novos métodos de estudo da evolução estelar se desenvolveram, e a idéia da "catástrofe do frio" mostrou-se inadequada.

Uma dada estrela está em equilíbrio. Seu campo gravitacional produz uma tendência à contração, enquanto o calor derivado das reações nucleares em seu centro produz uma tendência à expansão. Ambas as tendências se contrabalançam e, contanto que as reações nucleares continuem, o equilíbrio é mantido e a estrela permanece visivelmente a mesma.

Quanto mais maciça uma estrela, mais intenso seu campo gravitacional e maior sua tendência à contração. Para manter o volume em equilíbrio, essa estrela tem que sofrer reações nucleares em maior grau de velocidade, a fim de obter maior temperatura necessária para compensar a maior gravidade.

Quanto mais maciça uma estrela, portanto, mais quente ela deve ser e mais rapidamente deve consumir seu combustível nuclear básico, o hidrogênio. É claro que uma estrela mais maciça contém mais hidrogênio que uma estrela menos maciça, mas isso não importa. Ao analisarmos uma série de estrelas progressivamente maciças, descobrimos que a velocidade com a qual o combustível deve ser queimado para equilibrar a gravidade sobe consideravelmente mais depressa que o volume de hidrogênio. Isso significa que uma estrela maciça esgota seu amplo suprimento de hidrogênio mais depressa que uma estrela menor. Quanto mais maciça uma estrela, mais rapidamente ela consome seu combustível e mais rapidamente avança pelos

vários estágios de sua evolução.

Suponhamos, então, que estejamos estudando aglomerados estelares — não aglomerados globulares, que contêm tantas estrelas que não se pode estudar convenientemente cada uma de per si, mas “aglomerados abertos”, contendo apenas de umas poucas centenas a uns poucos milhares de estrelas suficientemente distantes umas das outras para permitir o estudo individualizado. Há cerca de mil aglomerados visíveis ao telescópio; alguns, como as Plêiades, estão tão próximos que seus membros mais brilhantes são visíveis a olho nu.

Todas as estrelas num aglomerado aberto presumivelmente foram formadas mais ou menos ao mesmo tempo, a partir de uma única grande nuvem de poeira e gás. No entanto, algumas, mais maciças, teriam progredido mais no trajeto evolucionário que as menos maciças, delimitando um espectro de posições nesse trajeto. O trajeto, na realidade, seria demarcado se temperatura e brilho totais fossem assinalados em contraposição à massa. Tendo isso por guia, os astrônomos podem fazer uso de seu crescente conhecimento sobre as reações nucleares para entender o que é que deve acontecer no interior de uma estrela.

O que acontece é que, embora a estrela deva se resfriar no fim, ela passa por um longo período em que, na verdade, se aquece mais. À medida em que o hidrogênio se converte em hélio no centro de uma estrela, esse centro fica mais rico em hélio, tornando-se, então, mais denso. O aumento de densidade intensifica o campo gravitacional no centro, que, em conseqüência, se contrai e se aquece mais. Por essa razão, a estrela inteira se aquece; conseqüentemente, enquanto o centro se contrai, a estrela como um todo se expande ligeiramente. Por fim, o centro fica tão quente que novas reações nucleares são facilitadas. Os núcleos de hélio dentro dele começam a se combinar para formar novos núcleos de elementos mais complexos, como o carbono, o oxigênio, o magnésio, o silício e outros.

Neste ponto, o centro está tão quente que o equilíbrio vai se desfazendo, prevalecendo a tendência à expansão. A estrela como um todo começa a crescer a ritmo acelerado. À medida em que se expande, a energia total irradiada pela estrela aumenta, mas essa energia se propaga por uma vasta superfície que aumenta de tamanho ainda mais rapidamente. Portanto, a temperatura de qualquer porção individual da superfície rapidamente crescente diminui. A superfície esfria até o ponto em que seu brilho é vermelho-incandescente, em vez de branco-incandescente, como na juventude da estrela.

O resultado é uma “gigante vermelha”. Existem estrelas desse tipo atualmente. A estrela Betelgeuse, em Órion, é um exemplo, e Antares, em Escorpião, é outro.

Todas as estrelas chegam ao estágio da gigante vermelha, mais cedo ou mais tarde: as mais maciças, antes; as menos, depois.

Algumas estrelas são tão imensas, maciças e luminosas, que permanecem no estável estágio de fusão de hidrogênio (geralmente chamado “seqüência principal”) por menos de 1 milhão de anos antes de crescerem até o ponto de gigante vermelha. Outras estrelas são tão pequenas e pálidas que permanecem na seqüência principal por até 200 bilhões de anos antes de se transformarem em gigantes vermelhas.

O tamanho das gigantes vermelhas também depende da massa.

Quanto mais maciça for uma estrela, mais volumosa ela crescerá. E é provável que uma

estrela realmente maciça se expanda até um diâmetro muitas centenas de vezes maior que o atual diâmetro do Sol, ao passo que estrelas bem pequenas talvez alcancem apenas algumas dúzias de vezes seu diâmetro.

Onde é que nosso Sol se coloca nessa escala? Ele é uma estrela de massa média, o que significa que tem um tempo de vida médio, em termos da seqüência principal. Algum dia ele se transformará numa gigante vermelha de tamanho médio. A duração total do tempo que uma estrela com a massa do Sol passará na seqüência principal, fundindo hidrogênio invisível e constantemente, é talvez algo como 13 bilhões de anos. Ele já está na seqüência principal há quase 5 bilhões de anos, o que significa que ainda tem mais de 8 bilhões de anos pela frente, nessa seqüência principal. Durante todo esse tempo, o Sol (como qualquer estrela) vai sofrendo um lento aquecimento. Nos últimos bilhões de anos de sua seqüência principal, o aquecimento terá certamente atingido o estágio em que a Terra estará quente demais para suportar a vida. Por conseguinte, resta-nos a esperança de apenas 7 bilhões de anos, no máximo, de um suprimento vital digno de uma saturnal.

Se, por um lado, 7 bilhões de anos não é exatamente o que se chamaria de pouco tempo, por outro, é muito menos que o necessário para o advento de uma catástrofe do primeiro grau.

Na época em que o Sol começar a subir em direção ao estágio da gigante vermelha e a vida na Terra se fizer impossível, pode ainda faltar quase 1 trilhão de anos para que o próximo ovo cósmico se forme. Pareceria que a estadia total do Sol na seqüência principal pode não representar mais que 1 por cento da vida do universo, de ovo cósmico a ovo cósmico.

Assim, quando a Terra não mais servir como habitat da vida (após tê-lo sido por mais de 10 bilhões de anos), o universo como um todo não estará muito mais velho que hoje e restarão muitas gerações de estrelas e planetas, ainda não nascidos, aguardando sua vez de desempenhar seu papel no drama cósmico.

Admitindo-se que a humanidade ainda povoará a Terra daqui a 7 bilhões de anos (hipótese essa bem difícil, é claro), ela poderá muito bem tentar escapar a essa catástrofe puramente local e continuar a ocupar um universo ainda em evolução. A evasão não será fácil, já que certamente inexistirá qualquer lugar de refúgio sobre a Terra. Quando o Sol atingir o pico de seu volume de gigante vermelha, seu diâmetro será cem vezes maior, de modo que Mercúrio e Vênus serão engolfados por ele. A Terra pode permanecer fora da massa crescida do Sol, mas, mesmo se assim for, o intensíssimo calor recebido do gigantesco Sol provavelmente causará sua evaporação.

E, mesmo assim, nem tudo estará perdido. Pelo menos, o aviso já terá sido dado. Se a humanidade sobreviver àqueles bilhões de anos, saberá durante todo esse tempo que precisará planejar a fuga de algum modo. À medida em que sua competência tecnológica aumenta (e considerando o quanto avançou nos últimos duzentos anos, imaginemos quanto ela pode avançar no período de 7 bilhões), a fuga pode se tornar possível.

Apesar de que a parte mais interna do sistema solar será devastada quando o Sol tiver se expandido ao máximo, os planetas gigantes da parte mais externa do sistema solar, conjuntamente com seus satélites, sofrerão menos. Na verdade, eles poderão, do ponto de vista humano, experimentar mudanças para melhor. A humanidade talvez possa capacitar-se para desenvolver consideráveis habilidades na adaptação de alguns dos maiores satélites de

Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, para utilizá-los como habitação humana. (O processo é às vezes denominado “formação de terra”.) Haverá bastante tempo para a mudança de um lugar para outro. Na época em que a expansão do Sol começar a se acelerar e a Terra começar a sofrer o cozimento final que a transformará num deserto, a humanidade poderá já estar estabelecida em algum ou alguns dos mundos mais externos do sistema solar; em, por exemplo, satélites de Júpiter, como Ganimedes e Calisto, ou mesmo em Plutão. Lá, os seres humanos poderão ser aquecidos pelo grande sol vermelho sem perigo. Aliás, visto de Plutão, o gigante vermelho solar não parecerá muito maior do que o Sol, como nos aparece agora, visto da Terra.

Mais importante é a probabilidade de os seres humanos conseguirem construir estruturas artificiais no espaço que agreguem comunidades compostas de 10 000 a 10 milhões de pessoas, cada comunidade ecologicamente completa e independente. E nem levaria bilhões de anos para se fazer isso, pois há claras indicações de que já temos a habilidade tecnológica necessária para construir essas estruturas e poderíamos preencher o céu com elas em questão de poucos séculos. Apenas fatores políticos, econômicos e psicológicos se interpõem nessa direção (embora constituam fortes restrições).

Assim, a catástrofe será evitada e a humanidade poderá continuar a sobreviver em novos mundos, não só naturais mas também artificiais.

ANÃS BRANCAS

Quando a fusão de hidrogênio não é mais a principal fonte de energia de uma estrela, esta só consegue se manter grande por um curto período de tempo. A energia obtida pela fusão de hélio em núcleos maiores e desses para outros de maior tamanho ainda totaliza não mais que 5 por cento da que se fazia disponível pela fusão de hidrogênio. Após um tempo relativamente curto, portanto, regride a capacidade da gigante vermelha de se manter distendida contrariamente à força da gravidade. A estrela começa a se contrair.

O tempo de vida da gigante vermelha e a natureza de sua contração dependem da massa da estrela. Quanto maior a massa, mais depressa a gigante vermelha gastará as últimas reservas de energia produzida pela fusão e menos tempo viverá. Mais: quanto maior a massa, maior e mais intenso o campo gravitacional e, portanto, mais rápida a contração, quando ela começar.

Quando uma estrela se contrai, resta ainda considerável quantidade de hidrogênio em suas camadas mais externas, onde não ocorreram reações nucleares, e, conseqüentemente, o hidrogênio se mantém intato. A contração aquecerá toda a estrela (agora é a energia gravitacional que está sendo convertida em calor, a sugerida por Helmholtz, e não a energia nuclear); assim, a fusão começa nas camadas mais externas. O processo de contração então coincide com um período de brilho na parte externa.

Quanto mais maciça uma estrela, mais rápida a contração, mais intenso o aquecimento nas camadas mais externas, mais hidrogênio a se fundir e mais rapidamente ele se funde — e mais

violentos os resultados. Em outras palavras, uma estrela pequena se contrairia invisivelmente, enquanto uma grande efetuaria fusão em suas camadas mais externas, suficiente para lançar parte de sua massa mais externa no espaço, fazendo isso mais ou menos explosivamente, deixando apenas as regiões mais internas para a contração.

Quanto mais maciça a estrela, mais violenta a explosão. Se a estrela é suficientemente maciça, o estágio da gigante vermelha chega ao fim numa violenta explosão de inimaginável magnitude, durante a qual a estrela pode brilhar por breve tempo com uma luz equivalente a muitos bilhões de vezes a intensidade de uma estrela comum; com um brilho, então, igual a uma galáxia inteira de estrelas não-explosivas. No processo de tal explosão, chamada "supernova", até 95 por cento da matéria da estrela podem ser lançados ao espaço exterior. O que restar se contrairá.

O que acontece à estrela que se contrai e não explode, ou àquela porção de uma estrela que explode, que resta e se contrai? No caso de uma estrela pequena que nunca esquenta suficientemente para explodir, ela se contrairá até dimensões meramente planetárias, mantendo toda ou quase toda a sua massa original. Sua superfície brilha em branco-incandescente, muitíssimo mais quente que a superfície do Sol. À distância, contudo, tal estrela contraída parece obscura, porque o brilho da luz vem de uma superfície tão pequena que o resultado acaba não sendo dos melhores. Essa estrela *é* uma "anã branca".

Por que a anã branca não continua a encolher? Numa anã branca, os átomos estão rompidos e os elétrons, não mais formando cápsulas envolventes dos núcleos atômicos centrais, formam uma espécie de "gás de elétrons", que só pode se contrair até certo ponto. Ele mantém a matéria da estrela distendida, pelo menos no tamanho planetário, e pode fazê-lo indefinidamente.

Agora a anã branca finalmente esfria, muito lentamente, e termina sua vida tornando-se fria demais para irradiar luz, constituindo-se, então, em uma "anã preta".

Quando uma estrela se contrai até se tornar uma anã branca, ela pode, se não for muito pequena, enquanto se contrai, lançar no espaço as regiões mais externas de sua própria gigante vermelha, numa explosão leve e sem grandes conseqüências, perdendo dessa maneira até um quinto de sua massa total. Vista à distância, a anã branca formada pareceria rodeada por uma neblina luminosa, quase como um anel de fumaça. Tal objeto é chamado de "nebulosa planetária"; há vários deles no céu. Gradualmente, a nuvem de gás se espalha em todas as direções, fica mais indistinta e se desvanece em meio à fina matéria do espaço interplanetário.

Quando uma estrela é maciça a ponto de explodir violentamente no processo de contração, o restante que ainda se contrai pode ser maciço demais — mesmo após a perda considerável de massa nas explosões — para formar uma anã branca. Quanto mais maciço o restante em contração, mais compacto o gás de elétrons e menor a anã branca.

Finalmente, se há massa suficiente, o gás de elétrons não consegue suportar a pressão sobre si. Os elétrons se espremem nos prótons presentes nos núcleos que vagam pelo gás de elétrons, e formam-se nêutrons. Estes se adicionam aos nêutrons já existentes nos núcleos e a estrela então consiste essencialmente em nêutrons, nada mais. A estrela se contrai até que esses nêutrons estejam em contato. O resultado *é* uma "estrela de nêutrons", com o tamanho de um asteróide — talvez 10 ou 20 quilômetros de extremo a extremo —, mas preservando a

massa de uma estrela de grande porte.

Se o restante em contração é ainda mais maciço, aí nem os nêutrons resistem à força gravitacional. Eles se rompem e o restante contrai-se até formar um buraco negro.

Qual, então, será o destino do Sol após ele atingir o estágio de gigante vermelha?

Ele poderá continuar como uma gigante vermelha por cerca de 200 milhões de anos — um período muito breve na escala de tempo de vida estelar, mas que propiciaria uma extensão de tempo para que a civilização se desenvolvesse nas comunidades espaciais “terra formada” em outros mundos —, mas aí o Sol se contrairá. Ele já não será tão grande a ponto de explodir violentamente, de modo que não haverá risco de, num dia ou numa semana de fúria, a vida do sistema solar ser exterminada até os confins de Plutão e mesmo mais além. De modo algum. O Sol simplesmente se contrairá, deixando, no máximo, um rastro esparso de sua camada mais externa, transformando-se numa nebulosa planetária.

A nuvem de matéria vagueará pelos planetas distantes que imaginamos estarem abrigando os descendentes da humanidade nesse longínquo futuro e, provavelmente, não oferecerá muito perigo. Será um gás muito fino; de qualquer modo, pode muito bem ser que as colônias humanas vivam sob a terra ou dentro de cidades cupuliformes, ao abrigo de qualquer efeito adverso.

O grande problema será o encolhimento do Sol. Uma vez encolhido até o ponto de anã branca (ele não é maciço o suficiente para formar uma estrela de nêutrons, muito menos um buraco negro), ele não será mais que um pontinho de luz no céu. Visto dos satélites de Júpiter, se os homens tiverem conseguido se estabelecer tão perto do Sol durante seu estágio de gigante vermelha, ele terá só 1/4 000 do brilho que hoje apresenta visto da Terra e irradiará apenas essa fração de energia, também.

Se as colônias humanas futuras dependerem do Sol para obter energia, elas não conseguirão contar com energia suficiente para manter suas sociedades após o Sol se ter transformado numa anã branca. Elas terão que se mudar para bem mais perto, mas não para um planeta, porque os corpos planetários mais internos do sistema solar terão sido destruídos na fase precedente da existência do Sol, a de gigante vermelha. Isso deixa como únicas alternativas de refúgio para a humanidade as comunidades espaciais artificiais.

Quando essas comunidades forem inicialmente construídas (talvez no próximo século), elas orbitarão em volta da Terra usando radiação solar como fonte de energia, e a Lua, como fonte da maioria das matérias-primas.

Alguns elementos leves essenciais — carbono, nitrogênio e hidrogênio —, que não estão presentes na Lua em quantidade apreciável, terão que ser obtidos na Terra.

Conseqüentemente, já se prevê, tais comunidades espaciais serão construídas no cinturão de asteróides, onde será mais fácil conseguir aqueles elementos vitais mais leves, sem ter que se envolver em perigosa dependência da Terra.

É possível que, à medida em que se tornem mais autosuficientes e mais móveis e em que a humanidade preveja mais claramente a dificuldade de permanecer ligada a superfícies planetárias, em vista das vicissitudes que atingirão o Sol no fim de seu tempo, as comunidades espaciais acabem se constituindo na morada preferida do homem. É bastante possível que,

bem antes de o Sol começar a nos criar problemas, a maioria ou toda a humanidade tenha deixado as superfície de planetas naturais, vivendo no espaço — em mundos e ambientes por ela mesma escolhidos.

A "formação de terra" em outros mundos, então, já não mais serviria tão bem aos propósitos de sobrevivência ao estado de gigante vermelha do Sol. Até lá, isso poderia ser uma solução trabalhosa e inútil. Em lugar disso, à medida em que o Sol for gradualmente esquentando, as comunidades espaciais ajustarão suas órbitas proporcionalmente e, muito lentamente, se afastarão.

Isso não é difícil de se imaginar. É quase impossível mudar-se a órbita de um mundo como a Terra, porque ela possui uma massa tão imensa e, portanto, um momento e um momento angular tão grandes que adicionar ou subtrair suficiente quantidade para alterar sua órbita de modo significativo é um empreendimento impraticável. E a massa da Terra é necessária para a manutenção de um campo gravitacional que conserve oceanos e atmosfera presos à sua superfície, tornando, assim, possível a vida.

Numa comunidade espacial, a massa total é insignificante, comparada com a da Terra, pois não se requer gravitação para reter a água, o ar e tudo o mais. Pelo contrário: tudo é conservado por estar mecanicamente isolado por um muro externo, e o efeito da gravidade sobre a superfície interna desse muro será produzido pelo efeito centrífugo que se origina na rotação.

Desse modo, a comunidade espacial pode ter sua órbita mudada com a utilização de uma razoável quantidade de energia e ser afastada do Sol à medida em que ele se aquecer mais e expandir. Pode também, teoricamente, aproximar-se do Sol à medida em que ele se contrair e proporcionar menos energia total. A contração, contudo, será muito mais rápida que a expansão precedente. Além disso, se todas as comunidades espaciais que existirem no estágio de gigante vermelha do Sol forem se mover na direção das proximidades da anã branca, elas poderão talvez ser comprimidas num volume menor que o desejável. Elas podem ter ficado acostumadas aos espaços ilimitados do vasto sistema solar antigo.

Mas, nessa medida, não é inconcebível que, muito antes de a anã branca chegar, os colonizadores espaciais já tenham desenvolvido um tipo de usina de fusão de hidrogênio como fonte de energia, tornando-se independentes do Sol. Poderiam, nesse caso, optar por abandonar o sistema solar de vez.

Se um número significativo de colônias espaciais deixar o sistema solar, transformando-se em "planetas livres" autoimpulsionados, isso significará que a humanidade terá escapado aos perigos das catástrofes do segundo grau e poderá continuar a viver (e se espalhar pelo universo indefinidamente) até o advento da contração universal e formação do ovo cósmico.

SUPERNOVAS

As principais razões por que a morte do Sol (morte no sentido de que ele ficará

completamente diferente do Sol que conhecemos) não precisa-se constituir em uma catástrofe para a espécie humana são:

1) que a inevitável expansão e subseqüente contração do Sol começarão num futuro tão remoto que, até lá, os seres humanos com certeza terão desenvolvido os meios tecnológicos necessários para a fuga, desde que ainda vivam;

2) que as mudanças sejam tão previsíveis que não haja perigo de sermos pegos de surpresa.

O que devemos considerar agora, pois, são as possíveis maneiras através das quais as catástrofes do segundo grau (envolvendo o Sol, ou, por extensão, uma estrela) poderiam nos pegar de surpresa e, pior ainda, fazê-lo em futuro próximo, antes que tenhamos oportunidade de desenvolver as defesas tecnológicas necessárias.

Por exemplo, há estrelas que sofrem mudanças catastróficas; o brilho varia de invisível a baço e, daí, a invisível novamente. Essas são as “novas”

(assim chamadas porque pareciam ser novas aos olhos dos astrônomos antigos que não contavam com telescópios). O primeiro relato sobre uma delas foi feito pelo astrônomo grego Hiparco (190-120 a.C).

As novas, extraordinariamente brilhantes, foram denominadas “supernovas” (já mencionadas anteriormente) pelo astrônomo suíço-americano Fritz Zwicky (1898-1974). A primeira a ser discutida detalhadamente por astrônomos europeus foi a supernova de 1572.

Suponhamos, por exemplo, que não é o Sol que se aproxima do fim da vida na seqüência principal, mas sim uma outra estrela. Embora o Sol esteja ainda na meia-idade, alguma estrela das proximidades poderia estar velha e a ponto de morrer. Será que uma supernova próxima daqui poderia apagar-se repentinamente, pegar-nos de surpresa e afetar-nos catastroficamente ?

As supernovas não são comuns; apenas uma estrela em cem é capaz de explodir como uma supernova; dessas, só algumas estão nos estágios finais de suas vidas; dessas, poucas estão suficientemente perto para serem vistas como estrelas de brilho extraordinário. (Antes da invenção do telescópio, uma estrela tinha que ser extraordinariamente brilhante para se fazer notar aos observadores como algo que tivesse aparecido onde antes estrela nenhuma era visível.) No entanto, as supernovas podem aparecer, como já aconteceu no passado — naturalmente, sem aviso prévio.

Uma supernova notável que apareceu no céu em tempos históricos surgiu em 4 de julho de 1054 — sem dúvida, a mais espetacular exibição de fogos de artifício sabidamente usada para comemorar o Glorioso 4[21], exatamente 722 anos antes desse evento. Essa supernova de 1054 foi observada por astrônomos chineses, mas *não* por astrônomos europeus e árabes[22].

A supernova apareceu como uma nova estrela, brilhando na constelação de Touro tão esfuziantemente que excedia o brilho de Vênus.

Nada no céu, além do Sol e da Lua, era mais brilhante que a nova estrela. Ela era tão brilhante que podia ser vista de dia — e não só por um curto período, mas por mais de três semanas. Aí, começou a desvanecer-se lentamente, mas levou quase dois anos até ficar

obscura o bastante para não ser vista a olho nu.

No local onde os antigos astrônomos chineses assinalaram essa aparição incomum, há hoje uma turbulenta nuvem de gás chamada “nebulosa de Câncer”, a qual tem um diâmetro de cerca de 13 anos-luz. Em 1921, o astrônomo sueco Knut Lundmark aventou ser ela uma sobrevivente remanescente da supernova de 1054. Os gases da nebulosa de Câncer estão ainda escapando a uma velocidade que, calculada regressivamente, indica que a explosão que deu origem a eles aconteceu exatamente na data em que a nova estrela surgiu.

Apesar de tanto brilho, a supernova de 1054 espargiu sobre a Terra somente 1/100 000 000 da luz do Sol, o que representa pouco em termos de efeitos sobre os homens, especialmente porque tal nível se manteve apenas durante algumas semanas.

Entretanto, não é só o total de luz que conta, mas também a distribuição. O Sol prove radiação muito ativa sob a forma de raios X, mas uma supernova tem uma porcentagem muito maior de sua energia radiante na região dos raios X. O mesmo se aplica aos raios cósmicos, outra forma de radiação de alta energia, com a qual nos ocuparemos mais tarde.

Resumindo, embora a luz da supernova de 1054 tenha sido tão fraca se comparada com a do Sol, a irradiação de raios X e dos raios cósmicos recebidos pela Terra deve ter excedido de muito a do Sol, pelo menos nas primeiras semanas da explosão.

Mesmo assim, ela não foi perigosa. Embora, como veremos, o influxo de radiação energética possa ter um efeito deletério sobre a vida, nossa atmosfera nos protege de quantidades excessivas da radiação, de modo que nem a supernova de 1054 nem o Sol nos oferecem muito perigo sob a nossa capa de ar protetor. E isso não é mera especulação. O fato é que a porção de vida reservada à Terra não sofreu quaisquer efeitos maléficos naquele ano crítico de 1054.

Naturalmente, a nebulosa de Câncer não está muito próxima de nós.

Ela se encontra a cerca de 6 500 anos-luz da Terra[23]. Uma supernova ainda mais brilhante apareceu no ano de 1006. A julgar pelos relatórios dos observadores chineses, ela pode ter sido cem vezes mais brilhante que Vênus, o que é uma respeitável fração do brilho da lua cheia. Acham-se referências a essa supernova até nuns poucos periódicos europeus. Ela estava a 4 000 anos-luz de nós.

Desde 1054, apenas duas supernovas se fizeram visíveis em nosso céu. Uma delas, de Cassiopeia, no ano de 1572, era quase tão brilhante quanto a de 1054, mas estava muito mais afastada. A supernova de Serpente, em 1604, era bem menos brilhante que as outras três mencionadas, mas também consideravelmente mais distante[24].

Algumas supernovas poderiam ter surgido em nossa galáxia desde 1604 e permanecido invisíveis, ocultas por vastas nuvens de poeira e gases que obstruem os arredores da galáxia. Podemos, contudo, detectar remanescentes de supernovas sob a forma de anéis de poeira e gases, como os da nebulosa de Câncer, mas geralmente mais finos e mais largos, o que indica serem supernovas que explodiram sem ser vistas, seja porque estavam ocultas, seja por terem ocorrido há muito tempo..

Algumas pequenas nuvens de gases marcadas por emissão de microondas e chamadas Cassiopeia A parecem denotar uma supernova que explodiu no fim do século XVII. Em caso afirmativo, ela é, até onde se sabe, a supernova que mais recentemente explodiu em nossa

galáxia, embora não possa ter sido consideravelmente mais espetacular que a supernova de 1054, se vista à mesma distância, julgando-se pela radiação desprendida hoje por seus remanescentes. No entanto, ela estava a uma distância de 10 000 anos-luz, de modo que provavelmente não teria sido muito mais brilhante que a anterior — se pudesse ter sido vista.

A supernova mais espetacular já vista nos tempos históricos iluminou os céus talvez há 11 000 anos, pouco antes de, em certas partes do mundo, os seres humanos começarem a desenvolver a agricultura. O que agora resta dessa supernova é uma camada de gás na constelação de Vela, detectada em 1939 pelo astrônomo russo-americano Otto Struve (1897-1963). Essa camada é chamada nebulosa de Gum (assim denominada em homenagem ao astrônomo australiano Colin S. Gum, primeiro a estudá-la detalhadamente, na década de 50).

O centro da camada dista de nós somente 1 500 anos-luz, o que a faz dentre todas as supernovas conhecidas a que explodiu mais perto de nós.

Uma extremidade da camada ainda em expansão e adelgaçamento está a apenas 300 anos-luz daqui. Ela nos pode atingir dentro de uns 4 000 anos, porém constituir-se-á em matéria tão diluidamente espalhada que não deverá nos afetar de maneira significativa.

Quando essa supernova explodiu, pode, em seu pico, ter brilhado tanto quanto a lua cheia — durante alguns dias; podemos invejar os seres humanos pré-históricos que testemunharam essa visão magnífica. E isso não parece ter causado danos à vida terrestre.

No entanto, a supernova de Vela distava 1 500 anos-luz. Existem estrelas a menos de um centésimo dessa distância. E se uma estrela realmente próxima de nós repentinamente virasse supernova? Suponhamos que uma das estrelas duplas Alfa da galáxia de Centauro, a somente 4,4 anos-luz, virasse supernova — e daí? Se uma supernova brilhante viesse a existir a 4,4 anos-luz daqui, a julgar pelo brilho que as supernovas apresentam, ela cintilaria com quase um sexto da luz e do calor do Sol e, por algumas semanas, haveria uma onda de calor jamais vista na Terra[25].

Suponhamos que a supernova fulgure na época do Natal — tanto quanto a Estrela de Belém. Nessa época do ano, teríamos o solstício de verão no hemisfério sul, e a Antártida estaria totalmente exposta à constante luz solar. A luz solar seria naturalmente fraca, porque o Sol se encontra próximo do horizonte mesmo no solstício. A supernova Alfa de Centauro, contudo, estaria alta no céu e adicionaria seu intenso calor ao do Sol. O gelo antártico inevitavelmente se ressentiria. O volume de degelo não teria precedentes; o nível do mar subiria com efeitos desastrosos em inúmeras partes do globo. E o nível do mar não desceria rapidamente após o resfriamento da supernova.

Demoraria anos para que o equilíbrio se restaurasse.

Além do mais, a Terra seria banhada por raios X e raios cósmicos com intensidade talvez jamais recebida e, depois de alguns anos, uma nuvem de poeira e gases, mais espessa que qualquer outra já encontrada, envolvê-la-ia. Discutiremos mais tarde que efeitos esses eventos poderiam ter, mas com certeza seriam desastrosos.

O importante é que isso não acontecerá. Na realidade, *não pode* acontecer. A mais brilhante das estrelas binárias Alfa de Centauro tem exatamente a massa do Sol, não podendo, como este, explodir como uma supernova gigante ou como qualquer tipo de supernova. O máximo

que a Alfa de Centauro pode fazer é virar gigante vermelha, arremessar para fora algumas de suas camadas mais externas sob forma de nebulosa planetária e, então, encolher até transformar-se numa anã branca.

Não sabemos quando isso ocorrerá, pois desconhecemos sua idade, mas não pode acontecer até depois de ela se tornar gigante vermelha e, mesmo se isso começasse amanhã, provavelmente permaneceria no estágio de gigante vermelha por cerca de 200 milhões de anos.

Qual, portanto, é a menor distância onde poderíamos encontrar uma supernova?

Para começar, devemos procurar uma estrela maciça, com um mínimo absoluto de massa 1,4 vez maior que a do Sol; se quisermos garantir um *show* realmente espetacular, a estrela deverá ser consideravelmente mais maciça do que isso. Como estrelas desse tipo não são comuns, conseqüentemente não o são as supernovas. (Estima-se que numa galáxia do tamanho da nossa haja, em média, uma supernova a cada 150 anos e, naturalmente, poucas dessas têm a probabilidade de se situarem, mesmo que moderadamente, perto de nós.)

A estrela maciça mais próxima é Sírius, com uma massa 2,1 vezes maior que a do Sol e que se encontra a 8,63 anos-luz, mais ou menos o dobro da distância da Alfa de Centauro. Mesmo com essa massa, Sírius não é capaz de produzir uma supernova realmente espetacular. Ela explodirá algum dia, sim, porém, seu estrondo se assemelhará mais ao de um revólver do que ao de um canhão. Além disso, Sírius está na seqüência principal. Em razão de sua massa, seu tempo de vida total na seqüência principal é de somente 500 milhões de anos, dos quais alguns certamente já passaram. Os anos que ainda estão por vir mais o estágio de gigante vermelha devem significar que, novamente, uma explosão só deve sobrevir dentro de algumas centenas de milhões de anos.

Devemos perguntar agora qual é a estrela maciça mais próxima que já esteja no estágio de gigante vermelha.

A gigante vermelha mais próxima é Scheat, da constelação de Pégaso.

Dista apenas 160 anos-luz e seu diâmetro é cerca de 110 vezes maior que o do Sol. Desconhecemos sua massa, mas, se este é seu diâmetro máximo, tem pouco mais de massa que o Sol e não passará para o estágio de supernova.

Se, por outro lado, ela for mais maciça que o Sol e ainda estiver se expandindo, o estágio de supernova ainda demorará muito tempo.

A gigante vermelha realmente grande que se encontra mais próxima é Mira, da constelação de Baleia. Seu diâmetro é 420 vezes maior que o do Sol, de modo que, imaginando-a no lugar do Sol, sua superfície estaria localizada nas fronteiras mais distantes do cinturão de asteróides. Ela deve ser muitíssimo mais maciça que o Sol, e dista cerca de 230 anos-luz.

Existem três gigantes vermelhas ainda maiores e não muito mais distantes. São elas Betelgeuse, em Órion; Antares, em Escorpião; e Ras Algethi, em Hércules. Cada uma delas está a aproximadamente 500 anos-luz da Terra.

Ras Algethi possui um diâmetro quinhentas vezes maior que o do Sol; o de Antares, 140 vezes. Se se imaginasse Antares no lugar do Sol, com seu centro situado na posição do centro

solar, sua superfície se estenderia além da órbita de Júpiter.

Betelgeuse não tem diâmetro fixo, porque parece vibrar. Quando em seu ponto mínimo, não é maior que Ras Algethi, porém pode expandir-se a um máximo de 750 vezes o diâmetro do Sol. Se se imaginasse Betelgeuse no lugar do Sol, sua superfície alcançaria, no máximo, o ponto médio entre Júpiter e Saturno.

É provável que Betelgeuse seja a mais maciça dessas gigantes vermelhas próximas e que sua vibração seja indicativa de instabilidade.

Nesse caso, é possível que, dentre todas as estrelas razoavelmente próximas de nós, ela seja a mais forte candidata a transformar-se em supernova e desintegrar-se.

Outra indicação desse fenômeno é o fato de fotografias de Betelgeuse, tiradas em 1978, no raio de ação de luz infravermelha (luz com ondas mais longas que as da luz vermelha e, portanto, impossibilitada de afetar a retina do olho), mostrarem que ela é circundada por uma enorme camada de gases cuja dimensão é cerca de quatrocentas vezes maior que o diâmetro da órbita de Plutão em volta de nosso Sol. Talvez Betelgeuse já esteja começando a expelir matéria no primeiro estágio de supernova.

Sem ter conhecimento da sua massa, não podemos predizer quão brilhante seria a supernova Betelgeuse, mas certamente ela teria um tamanho respeitável. O que pode faltar-lhe de brilho intrínseco seria compensado por situar-se a apenas um terço da distância da supernova Vela. Portanto, é possível que, quando vier, ela brilhe mais que a supernova de 1006 e chegue até a rivalizar com a supernova Vela. Os céus poderiam iluminar-se com uma nova espécie de luar e a Terra seria bombardeada com maior concentração de radiação dura do que a experimentada desde a supernova Vela, há 11.000 anos passados.

Já que o *Homo sapiens* — e a vida em geral — parece ter sobrevivido habilmente à supernova Vela, restam muitas esperanças de que ele possa igualmente sobreviver à supernova Betelgeuse{26}.

Não podemos ainda afirmar exatamente quando Betelgeuse poderá atingir o ponto de explosão. Pode ser que seu atual diâmetro variável seja indicativo de que ela esteja no ponto de desintegração e que, toda vez que esta começa, a temperatura em elevação que a acompanha favoreça a recuperação. Podemos supor que algum dia haverá uma contração tão intensa que dará início à explosão. Esse “algum dia” pode demorar séculos; por outro lado, pode ser amanhã. Talvez Betelgeuse já tenha explodido há cinco séculos e assim a onda de radiação, dirigindo-se para nós continuamente, pode nos alcançar amanhã.

Mesmo que a supernova Betelgeuse seja o pior que possamos esperar para um futuro razoavelmente próximo, e mesmo que possamos nos convencer de que isso não vá consistir em mais que um *show* fascinante, não estamos ainda livres do perigo representado por explosões estelares. O futuro mais longínquo pode estar nos reservando perigos maiores bem antes de chegada a hora da morte do Sol.

Afinal de contas, a situação atual não é permanente. Todas as estrelas, inclusive o Sol, estão se movendo. O Sol está constantemente se movendo em direção a novas regiões cósmicas e estas também constantemente mudam.

Com o tempo, as várias mudanças podem levar o Sol às imediações de uma estrela gigante

que estará explodindo numa supernova no momento exato em que passar por nós. O fato de a supernova Betelgeuse ser o pior que possamos esperar agora não é indicação de eterna segurança; é meramente um acidente momentâneo.

Porém, tal catástrofe não deverá ocorrer por muito tempo. Como assinalei, as estrelas se movem muito lentamente, em comparação com as vastas distâncias entre elas, e demorará muito até que estrelas atualmente distantes se aproximem de nós significativamente.

O astrônomo americano CarI Sagan (1935-) calcula que uma supernova pode explodir num raio de até 100 anos-luz da Terra a intervalos de 750 milhões de anos em média. Se assim for, explosões desse tipo podem já ter ocorrido talvez seis vezes na história do sistema solar, e podem ocorrer mais nove vezes antes de o Sol abandonar a seqüência principal.

Mas esse evento não deve nos pegar de surpresa. Não é difícil distinguir as estrelas que estão se aproximando. Temos meios de detectar uma gigante vermelha até a distância muitíssimo acima de 100 anos-luz. É bem provável que obtenhamos informações acerca da possibilidade de uma explosão com uma margem prévia de, pelo menos, 1 milhão de anos, o que nos permitirá planejar ações com o intuito de minimizar a explosão ou a ela escapar.

MANCHAS SOLARES

A questão seguinte é: podemos confiar totalmente no Sol? Será que algo errado poderá acontecer enquanto o Sol estiver na seqüência principal?

Será que num futuro próximo poderia ocorrer alguma coisa inesperada, de modo que não tivéssemos com que nos defender, ou nos faltasse tempo para empregar o que quer que nos pudesse defender?

A menos que haja algo de terrivelmente errado em nossas opiniões atuais relativas à evolução estelar, nada de muito ruim pode acontecer ao Sol.

As coisas agora são como foram há muito tempo e assim continuarão.

Qualquer mudança em seu comportamento deverá ser tão pequena a ponto de não trazer conseqüências na escala solar.

Contudo, será que variações sem conseqüências a nível solar não podem ser desastrosas a nível terrestre? Claro que sim. Um pequeno soluço no comportamento do Sol pode representar nada para ele e passar despercebido se o Sol for contemplado mesmo à distância das estrelas mais próximas. O efeito de tão pequena mudança sobre a Terra, no entanto, pode bastar para alterar drasticamente suas propriedades; se o estranho espasmo durasse bastante tempo, defrontar-nos-íamos com verdadeira catástrofe.

Como sabemos, em termos cósmicos, a vida é uma coisa um tanto frágil. Não é necessário que haja grande mudança de temperatura para ferver ou congelar os oceanos — e cada um desses casos provocaria a inviabilidade da vida. Mudanças relativamente pequenas no rendimento solar bastariam para produzir um desses extremos. Conclui-se, pois, que a vida só

pode continuar se o Sol brilhar com minúsculas variações, no máximo, em seu estado geral.

A medida em que a história da vida tem sido basicamente a mesma durante mais de 3 bilhões de anos, pelo que se sabe, podemos nos reassegurar de que o Sol realmente é uma estrela confiável. Ainda assim, o Sol poderia ser invariável a ponto de permitir a existência da vida em geral e, por outro lado, variável o suficiente para submetê-la a terríveis opressões. Na história da vida houve realmente épocas em que, aparentemente, surgiram catástrofes biológicas, e não podemos ter certeza se o Sol não foi o responsável por elas. Isso nós consideraremos mais adiante.

Se nos limitarmos aos tempos históricos, o Sol terá sempre parecido perfeitamente estável, pelo menos para observadores casuais e astrônomos menos favorecidos com instrumentos tão sofisticados quanto os presentemente utilizados. Estaremos bancando os tolos ao supor que isso persistirá?

Poderíamos responder a essa questão através da observação de outras estrelas. Se todas as outras estrelas são perfeitamente constantes em brilho, então por que não deveríamos admitir que o Sol também continuará sendo o mesmo nunca nos dando radiação a mais ou a menos?

Entretanto, o que ocorre é que algumas estrelas visíveis a olho nu *não* brilham de forma uniforme; pelo contrário, elas variam, escurecendo, às vezes, e brilhando mais, outras vezes. Uma delas é a estrela Algol, da constelação de Perseu. Nenhum astrônomo das idades antiga e medieval parece ter feito qualquer referência à sua variabilidade, talvez por causa da força da crença grega de que os céus eram imutáveis. Mas há evidências indiretas de que os astrônomos podem ter-se apercebido dessa variabilidade, mesmo não gostando de se referir a ela. Perseu, na constelação, era geralmente mostrado segurando a cabeça decepada da Medusa, o monstro demoníaco cujo cabelo se compunha de cobras vivas e cujo olhar fatal transformava homens em pedras. Dizia-se que Algol representava a cabeça e, por isso, ela era às vezes chamada de "estrela do demônio". Na verdade, a própria palavra "Algol" é uma distorção do árabe "*al ghul*", que significa "o demônio que se alimenta da carne dos mortos".

É grande a tentação para se supor que os gregos estavam perturbados demais pela variabilidade de Algol para se referirem a ela abertamente, mas exorcizavam-na através da transformação de Algol num demônio. Sua variabilidade foi explicitamente mencionada pela primeira vez em 1669, pelo astrônomo italiano Geminiano Montanari (1632-87).

Em 1782, um surdo-mudo de dezoito anos, o astrônomo anglo-holandês John Goodricke (1764-86), mostrou que a variabilidade de Algol era absolutamente regular e sugeriu que ela não era verdadeiramente variável. Em vez disso, segundo ele, ela era circundada por uma estrela opaca, que periodicamente a eclipsava em parte. Descobriu-se mais tarde que ele estava totalmente correto.

Anteriormente, contudo, em 1596, o astrônomo alemão David Fabricius (1564-1617) já havia notado uma estrela variável que era muito mais admirável do que Algol. Era Mira, a estrela que mencionei antes como sendo uma gigante vermelha próxima de nós. "Mira" é uma palavra latina que significa "motivo para embevecimento", e assim é, na medida em que ela varia em brilho muito mais que Algol, chegando, às vezes, a obscurecer, tanto que fica invisível a olho nu. Mira também tem um período de variação muito mais longo e irregular do que Algol. (Assim, é grande a certeza de que isso deve ter sido observado antes, mas pode ter

sido deliberadamente ignorado por ser perturbador demais para ser aceito.) Podemos ignorar estrelas como Algol, que sofrem eclipses e apenas *parecem* variar em luz. Seus casos não indicam qualquer sinal de variabilidade desastrosa numa estrela como o Sol. Podemos também ignorar as supernovas, que ocorrem somente nas convulsões de uma estrela que está passando pela contração final, e as novas, que são anãs brancas que já sofreram contração e estão absorvendo uma quantidade incomum de matéria de uma estrela companheira normal.

Isso nos deixa com estrelas como Mira ou Betelgeuse, que são “estrelas variáveis intrínsecas”, quer dizer, estrelas que apresentam variabilidade na luz que emitem por causa das mudanças cíclicas em suas estruturas. Elas pulsam, regularmente em alguns casos e, em outros, irregularmente, ficando mais frias e maiores na porção em expansão de seu ciclo, e mais quentes e menores na porção em contração.

Se o Sol fosse uma estrela variável intrínseca, a vida na Terra seria impossível, pois a diferença de radiação emitida pelo Sol em diferentes ocasiões em seu ciclo iria, periodicamente, banhar a Terra com calor insuportável e sujeitá-la a um frio igualmente insuportável. Poderíamos argumentar que os seres humanos poderiam proteger-se de tais extremos de temperatura, porém parece improvável que a vida teria sequer surgido sob tais condições, ou que teria evoluído até o ponto em que qualquer espécie estivesse bastante avancada tecnologicamente para lidar com tais variações.

Obviamente, o Sol *não* é uma estrela desse tipo, mas será que poderia transformar-se em tal, fazendo do mundo em que vivemos um horror intolerável?

Felizmente, isso não deve acontecer. Em primeiro lugar, estrelas variáveis intrínsecas não são comuns. Conhecem-se cerca de 14 000 delas.

Mesmo admitindo-se que muitas estrelas desse tipo passem despercebidas por estarem excessivamente distantes ou ocultas por nuvens de poeira, continua valendo o fato de que elas representam uma porcentagem muito pequena da totalidade das estrelas. A grande maioria das estrelas parecem ser tão estáveis e invariáveis quanto os gregos da Antigüidade criam que elas eram.

Além do mais, algumas estrelas intrinsecamente variáveis são grandes e brilhantes e estão terminando o seu ciclo na seqüência principal. Outras, como Mira e Betelgeuse, já deixaram a seqüência principal e parecem estar perto do fim de suas vidas como gigantes vermelhas. Provavelmente, a vibração representa o tipo de instabilidade que indica o fim de um certo estágio na vida de uma estrela e a passagem para outro.

Na medida em que o Sol é uma estrela de meia-idade, com bilhões de anos à frente do fim do estágio atual, aparentemente não há chance de que ele se torne uma estrela variável antes de passado muitíssimo tempo. Mesmo assim, há graus de variabilidade, e o Sol poderia ser ou tornar-se variável num grau muito pequeno que, ainda assim, nos causaria problemas.

Que dizer, por exemplo, das manchas solares? Será que sua presença em quantidades variáveis, de vez em quando, indica uma certa pequena variabilidade na produção de radiação solar? Sabe-se que as manchas são significativamente mais frias que as porções sem manchas da superfície solar. Um Sol manchado não seria então mais frio que um Sol sem manchas?

E, nesse caso, não experimentaríamos os efeitos aqui na Terra?

Essas questões se revestiram de maior importância com o trabalho de um farmacêutico alemão, Heínrich Samuel Schwabe (1789-1875), cujo *hobby* era a astronomia. Como só podia dedicar-se a seu telescópio durante o dia, ele observava as vizinhanças do Sol, tentando detectar um planeta desconhecido que, acreditavam algumas pessoas, poderia estar girando em torno do Sol dentro da órbita de Mercúrio.

Se isso fosse verdade, ele poderia cruzar o disco solar periodicamente; era isso o que Schwabe aguardava.

Ele iniciou sua pesquisa em 1825 e, ao vasculhar o disco do Sol, percebeu a existência das manchas solares. Passado certo tempo, abandonou o planeta e começou a fazer esboços das manchas. Fê-lo todos os dias ensolarados durante dezessete anos. Em 1843, estava pronto para anunciar que as manchas do Sol aumentavam e diminuíam em número num ciclo de dez anos.

Em 1908, o astrônomo americano George Ellery Hale (1868-1938) conseguiu detectar fortes campos magnéticos no interior das manchas solares. A direção do campo magnético é uniforme num dado ciclo e se inverte no ciclo seguinte. Levando em conta os campos magnéticos, o tempo para que o ponto máximo de intensidade de um campo numa dada direção venha a se repetir é de 21 anos.

Aparentemente, o campo magnético do Sol se fortalece e enfraquece por alguma razão, e as manchas solares estão associadas a essa mudança.

Assim também quanto aos outros efeitos. Há “chamas solares”, brilhos temporários repentinos da superfície do Sol, aqui e ali, que parecem estar associadas ao fortalecimento local do campo magnético. Eles se tornam mais comuns à medida em que aumenta o número de manchas solares, já que ambos refletem o campo magnético. Conseqüentemente, no auge de uma mancha solar falase de um “Sol ativo” e, no nível zero, de um “Sol inativo”[27] .

E, também, o Sol está sempre desprendendo fluxos de núcleos atômicos (especialmente núcleos de hidrogênio, que são simples prótons), os quais se afastam do Sol em todas as direções, a grandes velocidades. Esse fenômeno foi batizado de “vento solar” em 1958 pelo astrônomo americano Eugene Norman Parker (1927-).

O vento solar alcança a Terra e interage com a camada mais alta da atmosfera, produzindo uma série de efeitos, como a aurora boreal (ou “luzes do norte”). As chamas solares cospem enormes quantidades de prótons e temporariamente fortalecem o vento solar. Dessa maneira, a Terra é afetada muito mais fortemente por altos e baixos na atividade solar do que por qualquer simples mudança de temperatura, associada com o ciclo de manchas solares.

Esse ciclo, quaisquer que sejam seus efeitos sobre a Terra, certamente não interfere na vida de forma evidente. Permanece, contudo, uma dúvida: o ciclo de manchas solares pode perder suas características estáveis, de modo que o Sol começaria a oscilar tão violentamente a ponto de provocar uma catástrofe? Poderíamos argumentar que, na medida em que, pelo que se sabe, jamais o fez, igualmente não deverá fazê-lo no futuro. Poderíamos confiar nesse argumento se o ciclo fosse perfeitamente regular, mas não o é.

Encontraram-se, por exemplo, variações entre pontos máximos de ocorrência de manchas solares de sete e de dezessete anos.

E mais: a intensidade desses pontos máximos não é fixa. Mede-se o quanto o Sol se apresenta manchado pelo "número de manchas solares de Zurique". Para se calcular esse número, atribui-se 1 para cada mancha individual e 10 para cada grupo delas, e multiplica-se o total por uma unidade que depende dos instrumentos usados e das condições de observação. Caso se meça o número de manchas solares de Zurique anualmente, observar-se-á que, enquanto, no início dos séculos XVIII e XIX, os máximos foram de 50, em 1959, o máximo atingiu seu maior expoente: 200.

É claro que, pelo fato de só existirem relatos cuidadosos e freqüentes a partir de 1843 com Schwabe, os dados que usamos para os anos anteriores àquele talvez não sejam inteiramente confiáveis, e os relatórios do primeiro século depois da descoberta de Galileu geralmente foram desconsiderados por serem muito fragmentários.

Em 1893, entretanto, o astrônomo inglês Edward Walter Maunder (1851-1928), enquanto pesquisava velhos relatórios, surpreendeu-se com a descoberta de que nenhuma das observações da superfície solar feitas entre 1645 e 1715 falava de manchas solares. O número total de manchas detectadas durante aquele período era menor que o aplicável a qualquer ano da época atual. A descoberta foi ignorada em seu tempo, pois parecia fácil supor que os dados do século XVII eram demasiadamente fragmentários e não sofisticados para serem significativos; pesquisas recentes, porém, vieram corroborar suas exposições e, conseqüentemente, o período entre 1645 e 1715 é hoje chamado de "mínimo Maunder".

Naquele período, as manchas solares não só estavam praticamente ausentes, como também os relatos de ocorrência de auroras (especialmente comuns no ponto máximo de ocorrência de manchas solares, quando as chamas incendeiam todo o Sol) se tornaram raros. Mais importante ainda é o fato de que, a julgar pelas descrições de desenhos da época, o formato do halo durante os eclipses solares totais era característico de sua aparição no ponto mínimo de ocorrência de manchas solares.

Indiretamente, as variações no campo magnético do Sol — evidentes no ciclo de manchas solares — afetam a quantidade de carbono 14 (tipo de carbono radioativo) na atmosfera. O carbono 14 é formado por raios cósmicos que atingem a atmosfera da Terra. Quando o campo magnético do Sol está em expansão durante o ponto máximo de ocorrência de manchas solares, ele ajuda a proteger a Terra do influxo de raios cósmicos. No ponto mínimo, o campo magnético encolhe, e os raios cósmicos não são desviados.

Conseqüentemente, o nível de carbono 14 na atmosfera é alto no ponto mínimo e baixo, no máximo.

O carbono (inclusive o 14) é absorvido pelos vegetais sob a forma de dióxido de carbono na atmosfera. O carbono (inclusive o 14) é incorporado às moléculas constituintes da madeira das árvores. Felizmente, é possível detectar o carbono 14 e determinar sua quantidade com grande precisão.

Analisando-se árvores muito velhas, pode-se identificar o nível de carbono 14 em cada anel anual e determinar a variação de seu nível de ano para ano.

Ele é alto no ponto mínimo de ocorrência de manchas solares e baixo no ponto máximo; mais: foi alto durante todo o mínimo Maunder.

Outros períodos de inatividade solar foram assim descobertos; alguns duraram pouco — cinqüenta anos — e outros, um longo tempo — vários séculos. Cerca de doze deles foram detectados pela história, a partir de 3000 a.C.

Resumindo, parece haver um ciclo de manchas solares maior. Existem mínimos de pouca atividade, intercalados com prolongados períodos de oscilações entre baixa e alta atividade. Estamos num dos últimos períodos desde 1715.

Que efeitos esse ciclo maior de manchas solares exerce sobre a Terra?

Aparentemente, a dúzia de mínimos Maunder que ocorreu nos tempos registrados pela história não interferiu catastroficamente na existência humana. Baseado nesse fato, poderíamos pensar não ser necessário temer a reaparição desses mínimos prolongados. Por outro lado, isso demonstra que o nosso conhecimento sobre o Sol não é tão amplo quanto acreditávamos.

Não compreendemos o que, exatamente, causa o ciclo de manchas solares de dez anos que existe agora, e certamente não compreendemos o que causa os mínimos Maunder. Já que nada sabemos sobre essas coisas, podemos ter certeza de que o Sol não poderá, algum dia, escapar ao controle sem aviso prévio?

NEUTRINOS

Se soubéssemos o que acontece no interior do Sol, teríamos uma grande ajuda — não a nível meramente teórico, mas ao da observação direta.

Isso poderia parecer uma vã esperança, mas não o é, na realidade.

Nas primeiras décadas do século XX, verificou-se que, quando núcleos radioativos se rompiam, freqüentemente emitiam elétrons que se moviam com grande velocidade. Esses elétrons possuíam um grande potencial de energia que quase nunca perfazia o total de energia que o núcleo tinha perdido. Isso parecia contrariar a lei da conservação de energia.

Em 1931, o físico austríaco Wolfgang Pauli (1900-58), no intuito de evitar a invalidação dessa lei, bem como de numerosas outras leis da conservação, sugeriu que uma segunda partícula sempre era emitida junto com o elétron e que era essa segunda partícula que continha a energia que faltava. Para explicar esse fato, a segunda partícula deveria ser eletrícamente não-carregada e, provavelmente, sem massa. Sem carga ou massa, seria extremamente difícil detectá-la. O físico italiano Enrico Fermi (1901-54) chamou-a de “neutrino”, o que, em italiano, significa “pequeno neutro”.

Supondo que tivessem as propriedades acima mencionadas, os neutrinos não interagiriam prontamente com a matéria. Eles atravessariam toda a Terra quase tão facilmente como se atravessassem a mesma espessura de vácuo. De fato, atravessariam até bilhões de terras alinhadas lado a lado, com muito pouca dificuldade. Entretanto, raramente um neutrino poderia se chocar com uma partícula em condições tais que fomentassem uma interação. Se fôssemos trabalhar com muitos trilhões de neutrinos, todos atravessando um pequeno corpo de matéria,

poderíamos detectar algumas interações.

Em 1953, dois físicos americanos, Clyde L. Cowan, Jr. (1919-), e Frederick Reines (1918-), trabalharam com os antineutrinos[28] que eram desprendidos por reatores desintegradores de urânio. Os antineutrinos atravessavam grandes tanques de água, onde certas interações previstas realmente ocorriam. Passados 22 anos de existência teórica, o antineutrino e, portanto, também o neutrino tiveram sua existência comprovada experimentalmente.

As teorias astronômicas relativas à fusão nuclear do hidrogênio em hélio no centro do Sol — a fonte da energia solar — afirmam ser necessário que os neutrinos *(não* os antineutrinos) sejam desprendidos em grandes quantidades, quantidades que perfaçam 3 por cento da radiação total. Os outros 97 por cento constituem-se de fótons, que são as unidades de energia radiante como a luz e os raios X.

Os fótons abrem caminho até a superfície e são finalmente irradiados para o espaço, mas isso demora muito tempo, porque os fótons interagem prontamente com a matéria. Um fóton produzido no centro do Sol é absorvido muito rapidamente, reemitido, absorvido novamente, e assim por diante. Ele levaria 1 milhão de anos para ir do centro à superfície do Sol, muito embora, entre as absorções, viaje à velocidade da luz. Uma vez atingida a superfície, ele já passou por etapas tão complicadas de absorções e emissões que é impossível, a partir de sua natureza, imaginar o que aconteceu no centro.

A coisa muda muito de aspecto no que se refere aos neutrinos.

Também eles viajam à velocidade da luz, já que não têm massa. No entanto, em virtude de raramente interagirem com a matéria, os neutrinos produzidos no centro do Sol atravessam a matéria solar sem obstáculos, alcançando sua superfície em 2,3 segundos (e perdendo apenas 1 em 100 bilhões pela absorção no processo). Daí, cruzam o vácuo do espaço e, em quinhentos outros segundos, se apontados na direção certa, atingem a Terra.

Se pudéssemos detectar esses neutrinos solares na Terra, obteríamos alguma informação direta a respeito dos eventos ocorridos no centro do Sol, há uns oito minutos passados. A maior dificuldade consiste em detectar os neutrinos. Ocupou-se dessa tarefa o físico americano Raymond Davis, Jr., que se aproveitou do fato de que, às vezes, um neutrino interage com uma variedade de átomos de cloro para produzir um átomo radioativo do argônio.

O argônio pode ser coletado e detectado mesmo se só alguns átomos forem formados[29].

Para tanto, Davis utilizou-se de um enorme tanque contendo 378 000 litros de tetracloroetileno, um fluido de limpeza comum rico em átomos de cloro. Colocou o tanque na parte mais profunda da mina de ouro Homestake, em Lead, Dakota do Sul, onde havia 1,5 quilômetro de rochas entre o tanque e a superfície. As rochas deveriam absorver quaisquer partículas vindas do espaço, com exceção dos neutrinos.

A partir daí, era simplesmente uma questão de esperar a formação dos átomos de argônio. Se as teorias dos eventos no centro do Sol eram corretas, então um certo número de neutrinos deveria ser formado a cada segundo; desses, certa porcentagem deveria alcançar a Terra e uma outra atravessar o tanque de fluido de limpeza, e, dentre os últimos, certa porcentagem deveria interagir com os átomos de cloro para formar um certo número de átomos de argônio.

Pelas flutuações na velocidade de formação dos átomos de argônio e por outras propriedades e variações da interação em geral, poder-se-ia elaborar conclusões relativas aos eventos do centro do Sol.

Quase que de imediato, contudo, Davis foi surpreendido por um fato inesperado. Pouquíssimos neutrinos foram detectados, muito menos do que se podia imaginar. Foram formados, no máximo, um sexto de átomos de argônio em relação ao que se esperava.

Evidentemente, as teorias astronômicas dos eventos do centro do Sol requerem, agora, uma revisão. Não sabemos tanto sobre o que acontece no interior do Sol quanto pensamos. Significa isso que uma catástrofe está a caminho?

Não podemos afirmá-lo. Segundo nossas observações, o Sol tem sido estável o bastante, durante a história da vida, para possibilitar a continuidade da vida no planeta. Tínhamos uma teoria que garantia a estabilidade. Agora talvez tenhamos que modificar essa teoria, mas a teoria modificada ainda terá que garantir a estabilidade. O Sol não ficará instável apenas porque temos que modificar nossa teoria.

Resumindo, então: uma catástrofe do segundo grau, envolvendo mudanças no Sol que impossibilitarão a vida na Terra, deve chegar em não mais que 7 bilhões de anos, mas chegará com suficientes avisos prévios.

As catástrofes do segundo grau podem chegar antes disso, e inesperadamente, porém a probabilidade é tão pequena que não tem sentido dedicarmos muito tempo a essas preocupações.

Parte III

CATÁSTROFES DO TERCEIRO GRAU

7 — O BOMBARDEAMENTO DA TERRA

OBJETOS EXTRATERRENOS

Ao discutir a invasão do sistema solar por objetos do espaço interestelar, concentrei-me na possibilidade de que tais objetos pudessem afetar o Sol, já que qualquer interferência grave na integridade ou propriedades do Sol forçosamente teria efeito fatal sobre nós.

Mais sensível do que o Sol a tal desventura é a própria Terra. Um objeto interestelar passando através do sistema solar poderia ser pequeno demais para afetar o Sol significativamente, a não ser no caso de uma colisão direta e, às vezes, nem mesmo isso. Porém, esse mesmo objeto, se invadisse as vizinhanças da Terra, ou colidisse com ela, poderia acarretar uma catástrofe.

É hora, então, de considerarmos as catástrofes do terceiro grau — aqueles possíveis eventos que afetarão a Terra de modo a torná-la inabitável, embora o universo, e mesmo o resto do sistema solar, permaneçam intatos.

Consideremos, por exemplo, o caso de um miniburaco negro invasor de dimensões comparativamente grandes — digamos, com uma massa comparável à da Terra. Esse objeto, se não atingisse o Sol, não lhe causaria nenhum dano, embora ele mesmo pudesse, talvez, ter sua órbita drasticamente mudada pelo campo gravitacional do Sol1 .

Se, no entanto, tal objeto passasse perto da Terra, poderia produzir efeitos desastrosos, mesmo sem ter qualquer contato direto, unicamente por causa da influência de seu campo gravitacional sobre nós.

1 Ele poderia até mesmo (apesar de isso não ser provável) ser capturado pelo Sol e passaria a orbitar em torno deste. Essa órbita provavelmente seria eclíptica e muito excêntrica. Com sorte, ela não perturbaria apreciavelmente os outros corpos do sistema solar, inclusive a Terra, embora se tornasse um vizinho permanente extremamente incômodo.

É bem improvável, contudo, que um grande miniburaco negro seja um membro do sistema solar. Os reduzidos efeitos de seu campo gravitacional já teriam sido notados, a menos que estivesse posicionado além da órbita de Plutão.

Já que a intensidade de um campo gravitacional varia com a distância, a face terrestre voltada para o intruso será mais fortemente atraída que a face oposta. A Terra se estenderá em algum grau na direção do intruso.

Particularmente, as águas submissas dos oceanos se espalharão. Os oceanos se elevarão em lados opostos da Terra, na direção do intruso, e dele se afastarão, e, à medida em que a Terra girar, os continentes passarão por esta elevação. Duas vezes por dia, os mares invadirão os litorais continentais e deles retrocederão.

O avanço e retrocesso dos mares (as "marés") é na verdade experimentado na Terra como resultado da influência gravitacional da Lua e, em menor grau, do Sol. É por isso que todos os efeitos produzidos por diferenças na influência gravitacional sobre um corpo são chamados de "efeitos das marés".

Quanto maior a massa do intruso e mais perto da Terra ele passar, maiores serão os efeitos das marés. Se um miniburaco negro invasor for bastante maciço e passar pela Terra suficientemente próximo, ele poderá interferir na integridade da estrutura planetária, produzir rachaduras em sua crosta, e assim por diante. Uma colisão seria evidentemente catastrófica.

Um miniburaco negro desse tamanho, todavia, deve ser sumamente raro, embora possa existir, e devemos nos lembrar de que a Terra é um alvo muito menor que o Sol. A área de um corte transversal da Terra é apenas 1,012 milésimo da do Sol, de forma que a pequeníssima chance de haver um contato imediato entre tal corpo e o Sol deve ser ainda decrescida por um fator de 12 000 para um contato imediato com a Terra.

Se os miniburacos negros realmente existirem, é bem mais provável que apresentem o tamanho de um asteróide. Um miniburaco negro asteroidal, com uma massa que fosse, digamos, somente um milionésimo da da Terra, não ofereceria sérios riscos, mesmo com pequeno desvio. Produziria efeitos de marés insignificantes e talvez nem nos apercebêssemos de tal evento, se ele ocorresse.

Seria diferente, contudo, no caso de um choque direto. Um miniburaco negro, por pequeno que fosse, penetraria fundo na crosta terrestre. Absorveria matéria, naturalmente, e as energias desprendidas no processo derreteriam e vaporizariam a matéria à sua frente, enquanto ele estivesse penetrando. Poderia percorrer todo o caminho em linha curva (embora, não necessariamente passando através do centro) e emergir da Terra para continuar seu trajeto pelo espaço — trajeto este alterado pela força gravitacional terrestre, naturalmente. Ele seria mais maciço ao emergir que ao entrar. Estaria também se movendo mais lentamente, pois, ao atravessar os gases da substância terrestre vaporizada, teria encontrado certa resistência.

O corpo da Terra se regeneraria após a evasão do miniburaco negro.

Os vapores resfriariam e se solidificariam, e as pressões internas fechariam o túnel aberto pelo miniburaco negro. No entanto, o efeito na superfície seria como o de uma enorme explosão — duas, aliás, uma na área por onde o miniburaco negro entrasse e outra por onde saísse —, com resultados devastadores (embora, talvez, não completamente catastróficos).

Naturalmente, quanto menor o miniburaco negro, menores os efeitos, exceto que, em certo sentido, um miniburaco negro pequeno pode ser, na verdade, pior que um grande. Um miniburaco negro pequeno teria um momento um tanto baixo, graças à sua pequena massa, e se ele também estivesse se movendo em baixa velocidade em relação à Terra poderia perder velocidade e ser incapaz de abrir caminho para a saída. Ficaria, então, preso na gravidade da Terra. Cairia em direção ao centro, erraria o alvo por pouco, recuaria novamente, e assim por diante, diversas vezes.

Por causa da rotação terrestre, ele não iria se mover de um lado para outro na mesma direção; pelo contrário, escavaria intrincada rede de trilhas, constantemente crescendo e absorvendo mais matéria a cada impulso.

Finalmente, ele se depositaria no centro, deixando para trás uma Terra crivada, com uma região oca no centro — e esse espaço oco aumentaria lentamente. Se a Terra estivesse tão estruturalmente enfraquecida a ponto de constringir-se, mais material se depositaria no buraco negro central e, finalmente, o planeta seria consumido.

O buraco negro resultante, com a massa da Terra, continuaria a se mover na órbita terrestre em volta do Sol. Para o Sol e os outros planetas, isso não faria qualquer diferença. Até a Lua continuaria a circundar esse minúsculo objeto de 2 centímetros de diâmetro, como se fosse a Terra com seu tamanho original, o que seria verdadeiro em termos de massa.

Isso, no entanto, seria o fim do mundo para nós — a sinopse de uma catástrofe do terceiro grau. E (teoricamente) isso poderia acontecer amanhã.

Da mesma forma, um pedaço de antimatéria, pequeno demais para transtornar apreciavelmente o Sol, mesmo que colidisse com aquele corpo, poderia ser suficientemente grande para devastar a Terra. Ao contrário do buraco negro, se tivesse massa asteroidal ou menos, ele não atravessaria o planeta. Mas abriria, sim, uma cratera que poderia destruir uma cidade ou um continente, dependendo de seu tamanho. Porções de matéria do tipo mais comum, oriundas do espaço interestelar, naturalmente causariam menores danos.

A Terra está protegida dessas catástrofes por invasão por dois motivos:

1. No caso de miniburacos negros e de corpos de antimatéria, não sabemos realmente se objetos dessa espécie sequer existem.

2. Se esses objetos realmente existem, o espaço é tão imenso em volume e a Terra um alvo tão pequeno que a probabilidade de sermos atingidos, ou mesmo de que apenas haja grande aproximação, é extraordinariamente mínima. Isto, é claro, se aplica também a objetos de matéria comum.

De modo geral, pois, podemos ignorar os invasores do espaço interestelar, de qualquer natureza, e a possibilidade de representarem perigo considerável à Terra[30].

COMETAS

Se fôssemos procurar mísseis que pudessem ser lançados de encontro à Terra, não precisaríamos nos preocupar com invasores do espaço interestelar. Há objetos assim de sobra no próprio sistema solar.

Desde aproximadamente 1800, graças ao trabalho do astrônomo francês Pierre Simon Laplace (1749-1827), é bem conhecido o fato de que o sistema solar é uma estrutura estável, desde que não sofra interferências externas. (E, pelo que se sabe, ele não tem sofrido interferências durante os 5 bilhões de anos de sua existência e assim deve continuar, pelo que se pode julgar, por um futuro indeterminado.)

Por exemplo, a Terra não pode cair sobre o Sol. Para isso, ela teria que se livrar do enorme suprimento de momento angular de translação. Esse suprimento não pode ser destruído; pode

apenas ser transferido, e não sabemos de nenhum mecanismo que não uma invasão por um corpo do tamanho de um planeta do espaço interestelar que absorvesse o momento angular da Terra, deixando-a imóvel em relação ao Sol e, portanto, passível de nele cair.

Pela mesma razão, nenhum outro planeta pode cair sobre o Sol, nenhum satélite pode cair sobre seu planeta, e, particularmente, a Lua não pode cair sobre a Terra. E os planetas não podem alterar suas órbitas de modo a colidir uns com os outros[31].

Naturalmente, o sistema solar nem sempre foi tão ordenado como o é agora. Quando os planetas estavam começando a se formar, uma nuvem de poeira e gás nas regiões periféricas do Sol coalescente se condensou em fragmentos de diversos tamanhos. Os fragmentos maiores cresceram às custas dos menores, até que grandes núcleos de tamanho planetário se formaram. Porém, restaram objetos menores, mas de tamanhos ainda consideráveis. Alguns deles se transformaram em satélites, circundando os planetas, pelo que vieram a ter órbitas estáveis. Outros colidiram com o planeta ou com os satélites, adicionando-lhes os últimos fragmentos de massa.

Podemos, por exemplo, ver as marcas das últimas colisões com a Lua, usando apenas um bom binóculo. Há 30 000 crateras na Lua, com diâmetros variando entre 1 e mais de 200 quilômetros — cada uma delas é a marca de uma colisão com uma porção de matéria veloz.

Sondagens feitas por foguetes têm-nos mostrado as superfícies de outros mundos; achamos crateras em Marte, em seus dois pequenos satélites, Fobos e Deimos, e em Mercúrio. A superfície de Vênus é recoberta de nuvens e difícil de se explorar, mas sem dúvida também possui crateras. Há crateras até mesmo em Ganimedes e Calisto, dois dos satélites de Júpiter. Por que, então, não há crateras indicativas de bombardeamento na Terra?

Mas há, sim! Ou melhor, já houve. A Terra possui características que faltam a outros mundos de igual tamanho. Ela possui uma atmosfera ativa, o que a Lua, Mercúrio e os satélites jupiterianos não têm, e que Marte possui somente em pequena quantidade. Ela tem um volumoso oceano, sem mencionar o gelo, a chuva e a água corrente, coisas não compartilhadas por quaisquer outros objetos celestes, embora haja gelo e possa já ter havido água corrente em Marte. Finalmente, a Terra tem vida, algo que parece não existir em nenhum outro corpo do sistema solar. O vento, a água e a atividade vital, todos servem para corroer os traços da superfície; já que as crateras se formaram há bilhões de anos, as da Terra estão agora apagadas[32].

Durante os primeiros bilhões de anos seguintes à formação do Sol, os vários planetas e satélites firmaram suas órbitas e adotaram os formatos atuais. No entanto, o sistema solar ainda não está totalmente completo. Resta ainda o que se poderia denominar “entulho planetário”, objetos que circundam o Sol, mas que são pequenos demais para constituir planetas, e que, contudo, são capazes de criar uma devastação se, de algum modo, colidirem com um corpo maior. Vejamos, por exemplo, os cometas.

Os cometas são objetos enevoados, que brilham vagamente e, às vezes, apresentam formas irregulares. Eles têm sido vistos desde que os homens começaram a olhar o céu, mas sua natureza permaneceu desconhecida até os tempos modernos. Os astrônomos gregos pensavam serem eles fenômenos atmosféricos que consistiam em vapores se queimando no ar[33]. Foi só em 1577 que o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) pôde demonstrar que eles

existiam no espaço aberto e que deviam vagar entre os planetas.

Em 1705, Edmund Halley conseguiu calcular a órbita de um cometa (o cometa de Halley). Ele demonstrou que o cometa não se movia ao redor do Sol numa órbita circular, como os planetas, mas numa alongadíssima elipse de grande excentricidade. Era uma órbita que o trazia comparativamente perto do Sol, num extremo, e levava-o muito além da órbita dos planetas mais afastados, no outro.

O fato de que os cometas visíveis a olho nu parecem compridos, em vez de meros pontos de luz, como os planetas e as estrelas, fez com que se acreditasse serem eles corpos muito maciços. O naturalista francês George L.L. Buffon (1707-88) cria ser assim e, considerando a maneira pela qual eles pareciam esbarrar no Sol num extremo da órbita, conjeturou a possibilidade de um deles chegar a chocar-se com o Sol, como que por um pequeno erro de cálculo. Em 1745, ele sugeriu que o sistema solar ter-se-ia formado a partir de uma colisão dessa natureza.

Hoje sabemos que os cometas são, na realidade, corpos pequenos com, no máximo, alguns quilômetros de ponta a ponta. Segundo alguns astrônomos, como o holandês Jan Hendrik Oort (1900-), talvez haja cerca de 100 bilhões desses corpos formando uma camada em volta do Sol, a uma distância de aproximadamente 1 ano-luz. (Cada um deles seria tão pequeno e todos estariam espalhados por uma área tão imensa, que não alterariam nossa visão do universo.)

É bem possível que os cometas sejam resíduos inalterados oriundos das regiões mais externas da nuvem original de poeira e gás da qual se formou o sistema solar. Provavelmente, são compostos por complexos dos elementos mais leves, solidificados como substâncias congeladas — água, amônia, sulfeto de hidrogênio, cianeto de hidrogênio, cianogênio, *etc.*

Engastadas nesses gelos estariam diversas quantidades de material rochoso sob a forma de poeira ou de pedregulho. Em alguns casos, a rocha pode formar um núcleo sólido.

De vez em quando, um cometa dessa camada distante pode ser perturbado pela influência gravitacional de alguma estrela comparativamente próxima e modificar sua órbita, aproximando-se mais do Sol (muito mais, ocasionalmente). Se, ao passar através de um sistema planetário, o cometa for atraído pela força gravitacional de um dos planetas maiores, sua órbita será novamente alterada e ele poderá permanecer nesse sistema até que outra perturbação planetária o expulse de novo[34].

Quando um cometa adentra a parte mais interna do sistema solar, o calor do Sol começa a derreter o gelo e uma nuvem de vapor, tornada visível pela inclusão de partículas de gelo e poeira, envolve o "núcleo" central do cometa. O vento solar varre a nuvem de vapor para longe do Sol e estica-a até que forme uma longa cauda. Quanto maior e mais gelado o cometa e quanto mais perto do Sol ele chega, maior e mais brilhante é sua cauda. É esta nuvem de poeira e vapor, com o formato de uma cauda, que dá a impressão de que o cometa é enorme; na verdade, ele é uma nuvem muito fraca, de muito pouca massa.

Após passar pelo Sol e retornar às extremidades mais longínquas do sistema solar, o cometa fica menor por causa da quantidade de material perdido naquela passagem. A cada visita à extremidade próxima do Sol, ele perde mais material, até acabar morrendo. Isto é, ou se reduz a seu núcleo central rochoso, ou, se este inexiste, a uma nuvem de poeira e pedregulhos que

lentamente se espalha por toda a órbita cometária.

Por se originarem de uma camada que circunda o Sol em três dimensões, os cometas podem adentrar o sistema solar por qualquer ângulo.

Porque são facilmente perturbadas, suas órbitas podem ser quase uma espécie de elipse, adotando qualquer posição em relação aos planetas. Além disso, a órbita está sempre sujeita a mudanças por perturbações ulteriores.

Nessas condições, um cometa não é um membro do sistema solar tão bem comportado como os planetas e os satélites. Qualquer cometa poderia, mais cedo ou mais tarde, chocar-se contra algum planeta ou satélite. Poderia, particularmente, chocar-se contra a Terra. O que impede que isso aconteça é simplesmente a vastidão do espaço e a comparativa pequenez do alvo.

Entretanto, é bem maior a probabilidade de a Terra ser atingida por um cometa do que por qualquer objeto relativamente grande do espaço interestelar.

Por exemplo, em 30 de junho de 1908, no rio Tunguska, no Império Russo — perto do centro exato do império, aliás —, houve uma enorme explosão às 6,45 horas da manhã. Todas as árvores num raio de quilômetros foram derrubadas. Uma manada de renas foi extinta e inúmeros outros animais foram mortos. Felizmente, nem um único ser humano foi ferido! A explosão deu-se no interior de uma impenetrável floresta siberiana, e nem seres humanos nem seus trabalhos estavam dentro do extenso raio de devastação. Só anos mais tarde o local da explosão pôde ser investigado; descobriu-se, então, não haver qualquer sinal de impacto na Terra. Por exemplo: parecia não haver crateras.

Desde então, várias explicações sobre a violência do evento e a inexistência de impacto — miniburacos negros, antimatéria, até naves extraterrenas com armas nucleares explosivas — vêm sendo elaboradas. Os astrônomos, contudo, têm certeza de que aquilo foi provocado por um pequeno cometa. O material gelado que o compunha se evaporou assim que ele se precipitou em nossa atmosfera — e fê-lo tão rapidamente que causou a explosão fragmentária. A explosão no ar, a talvez menos de 10 quilômetros acima do solo, teria causado todo o dano, porém, o cometa, é claro, nunca teria alcançado o solo, de forma que naturalmente não haveria cratera ou fragmentos de suas estrutura espalhados pelo local.

Foi por pura sorte que a explosão ocorreu em um dos poucos lugares da Terra onde nenhum mal seria causado aos seres humanos. De fato, se o cometa tivesse seguido exatamente seu curso regular e a Terra tivesse prolongado mais um quarto de sua rotação, a cidade de São Petersburgo (hoje Leningrado) teria sido apagada do mapa. Tivemos sorte daquela vez, mas isso pode acontecer de novo algum dia com conseqüências mais graves, e não sabemos quando. É improvável que surja qualquer aviso, sob as condições atuais.

Se contarmos a cauda como parte do cometa, a possibilidade de haver uma colisão aumenta ainda mais. Caudas de cometas podem se alongar por muitos milhões de quilômetros, e ocupar um volume espacial tão grande que a Terra poderia facilmente moverse através de uma delas. Aliás, em 1910, a Terra realmente atravessou a cauda do cometa de Halley.

Caudas de cometas, contudo, representam matéria tão finamente espalhada que são pouco mais que o próprio vácuo do espaço interplanetário.

Apesar de serem compostas por gases venenosos que poderiam ser perigosos se a cauda

fosse tão densa quanto a atmosfera terrestre, com sua típica densidade elas são inofensivas. A Terra não sofreu qualquer efeito notável ao atravessar a cauda do cometa de Halley.

A Terra pode também atravessar o material poeirento deixado por cometas mortos. E, na verdade, o faz. Essa poeira está constantemente atingindo a atmosfera terrestre; lentamente, ela se deposita aí, servindo como núcleos para gotas de chuva. A maioria é microscópica. As de tamanho visível se aquecem à medida em que comprimem o ar ante elas e desprendem luz, brilhando como uma “estrela cadente” ou “meteoro”, até vaporizar-se.

Nenhum desses objetos pode causar qualquer dano; eles simplesmente acabam por pousar no chão. Embora tão pequenos, muitos deles alcançam a atmosfera terrestre a tal ponto que, estima-se, a Terra ganha anualmente cerca de 100 000 toneladas de massa desses “micrometeoróides”. Pode parecer muito, mas nos últimos 4 bilhões de anos tal acréscimo de massa, se tivesse mantido essa taxa de aumento, somaria menos de 1/10 000 000 do total da massa da Terra.

ASTERÓIDES

Os cometas não são os únicos corpos pequenos do sistema solar. Em 1° de janeiro de 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826) descobriu um novo planeta, o qual denominou Ceres. Este se movia ao redor do Sol numa típica órbita planetária, praticamente circular. Sua órbita se posicionava entre as de Marte e Júpiter.

A razão de sua descoberta tão tardia se baseava no fato de ele ser um planeta muito pequeno e, portanto, captar e refletir tão pouca luz solar, que era opaco demais para ser visto a olho nu. Seu diâmetro, de fato, era de apenas 1.000 quilômetros, consideravelmente menor que Mercúrio, o menor dos planetas conhecidos até essa época. Nesse sentido, ele é menor que dez dos satélites dos vários planetas.

Se fosse só isso, ele simplesmente teria sido aceito como um planeta pigmeu, porém havia mais. Seis anos após a descoberta de Ceres, três outros planetas foram encontrados, todos menores que Ceres e com órbitas entre as de Marte e Júpiter.

Por serem tão pequenos, esses planetas apareciam no telescópio meramente como pontos esteliformes de luz e não eram expandidos até a forma de discos, como os planetas.

William Herschel, portanto, sugeriu que os novos corpos fossem chamados de “asteróides” (“em forma de estrela”), sugestão essa que foi adotada.

Com o passar do tempo, muitos outros asteróides foram descobertos, todos eles ou menores ou mais afastados da Terra (ou as duas coisas) do que os quatro primeiros e, portanto, ainda mais opacos e difíceis de serem vistos.

Até agora, bem mais de 1 700 asteróides foram localizados e tiveram suas órbitas calculadas. Estima-se que existam de 40 000 a 100 000 deles, com diâmetros de mais de 1 quilômetro. (Uma vez mais, são tão pequenos e estão espalhados por uma área tão imensa que

não impedem os astrônomos de observarem o céu.)

Os asteróides diferem dos cometas por serem rochosos ou metálicos, em vez de feitos de gelo. Podem também ser consideravelmente maiores que os cometas. E assim, na pior das hipóteses, podem ser projéteis mais terríveis que os cometas.

Todavia, os asteróides encontram-se, em sua maioria, em órbitas mais seguras. Quase todas as órbitas asteroidais situam-se na porção de espaço planetário compreendida entre as órbitas de Marte e Júpiter. Se todos ficassem permanentemente nessa região, não representariam um perigo para a Terra.

No entanto, os asteróides, especialmente os menores, estão sujeitos a perturbações e mudanças orbitárias. Com o tempo, algumas órbitas mudam tanto um percurso que tendem a trazer os asteróides para muito perto dos limites do "cinturão de asteróides". Pelo menos oito deles aproximaram-se de Júpiter a ponto de serem capturados e são, agora, satélites desse planeta, circundando-o em órbitas distantes. Podem existir outros desses satélites de Júpiter que ainda não foram detectados, em virtude do seu reduzido tamanho.

E há, também, várias dúzias de satélites, os quais, embora ainda não capturados pelo próprio Júpiter, circundam em sua órbita 60 graus adiante ou atrás, mais ou menos presos em suas posições pela influência gravitacional de Júpiter.

Existem até asteróides cujas órbitas foram perturbadas a ponto de formarem elipses alongadas de modo que, quando estão o mais perto possível do Sol, encontram-se no cinturão de asteróides, porém no outro extremo de suas órbitas movem-se bem além de Júpiter. Um desses asteróides, Hidalgo, descoberto em 1920 pelo astrônomo alemão Walter Baade (1893-1960), afasta-se quase até a órbita de Saturno.

Entretanto, se os asteróides que ficam dentro do cinturão de asteróides não oferecem perigo para a Terra, certamente aqueles que vagueiam além dos limites externos do cinturão e afastam-se para além de Júpiter também não são perigosos. Mas haverá asteróides que vagueiem na outra direção e se movam dentro da órbita de Marte e possivelmente se aproximem da Terra?

A primeira indicação de tal possibilidade surgiu em 1877, quando o astrônomo americano Asaph Hall (1829-1907) descobriu os dois satélites de Marte. Eles eram minúsculos objetos de tamanho asteroidal que, hoje, são considerados asteróides capturados por se terem aventurado perto demais de Marte. Em 13 de agosto de 1898, o astrônomo alemão Gustav Witt descobriu um asteróide ao qual deu o nome de Eros. Sua órbita era marcadamente elíptica numa forma tal que, quando mais distanciado do Sol, estava bem dentro do cinturão, porém quando mais perto dele, distava apenas 170 milhões de quilômetros. Isso o aproxima do Sol quase tanto quanto a Terra.

De fato, se Eros e a Terra estivessem nos pontos certos em suas órbitas, seu distanciamento seria de apenas 22,5 milhões de quilômetros. É claro que não é freqüente ambos estarem nos pontos apropriados em suas órbitas; geralmente, estão consideravelmente mais afastados. Contudo, Eros pode se aproximar da Terra mais que qualquer planeta. Ele foi, pelo que se sabe, o primeiro objeto relativamente grande do sistema solar (exceção feita à Lua) a se aproximar da Terra mais que Vênus, e, assim, é considerado o primeiro dos "arranha-Terra" já assinalados.

Ao longo do século XX, com o desenvolvimento e maior utilização da fotografia e outras técnicas para a localização de asteróides, mais de uma dúzia de outros arranha-Terra foram descobertos. Eros é um objeto de formato irregular, com seu maior diâmetro atingindo aproximadamente 24 quilômetros, enquanto os outros arranha-Terra são todos menores, com diâmetros variando entre 1 e 3 quilômetros.

Quão próximo pode chegar um arranha-Terra? Em novembro de 1937, um asteróide, que recebeu o nome de Hermes, foi visto passando a alta velocidade pela Terra a uma distância de 800 000 quilômetros, aproximadamente o dobro da distância da Terra à Lua. Calculou-se, na época, uma órbita que mostrou que se Hermes e a Terra estivessem nos pontos apropriados em suas órbitas, sua aproximação seria de 310 000 quilômetros — o que significa que, nesse ponto, Hermes distaria menos que a própria Lua. Este é um dado incômodo, pois Hermes tem 1 quilômetro de extensão e uma colisão com ele causaria terríveis danos.

Não podemos ter certeza sobre sua órbita, porque Hermes nunca mais foi visto, pelo que se conclui que, ou a órbita não foi calculada corretamente, ou Hermes foi desviado dela. Se for avistado novamente, será por mero acaso.

Naturalmente, sem dúvida, existem muitos mais arranha-Terra do que podemos ver com nossos telescópios, já que qualquer objeto que passe próximo à Terra o faz tão rapidamente que pode nem ser notado. E se ele fosse pequeno (e, como em todos esses casos, há mais arranha-Terra pequenos do que grandes), seria muito opaco.

O astrônomo americano Fred Whipple (1911-) suspeita de que existam pelo menos cem arranha-Terra com mais de 1,5 quilômetro de diâmetro. Conseqüentemente, é bem possível haver alguns milhares de outros cujos diâmetros variem entre 0,1 e 1,5 quilômetro.

Em 10 de agosto de 1972, um pequeníssimo arranha-Terra atravessou a camada mais alta da atmosfera e, no processo, foi aquecido até brilhar visivelmente. O ponto de maior aproximação foi 50 quilômetros de altura no sul de Montana, EUA. Calculase seu diâmetro como sendo de 0,013 quilômetro.

Resumindo, a região nas vizinhanças da Terra parece ser rica em objetos jamais avistados antes do século XX, objetos que variam desde os enormes como Eros, até dezenas de outros do tamanho de uma montanha, até mesmo milhares como grandes seixos, aos bilhões daqueles que mal consistem em pedregulhos. (Se quisermos contar os resíduos cometários mencionados anteriormente, existem trilhões de objetos de tamanho de cabeças de alfinete, ou menores ainda.)

Será que a Terra pode atravessar um espaço tão povoado e escapar às colisões? É claro que não. As colisões ocorrem constantemente.

METEORITOS

Em quase todos os casos, os fragmentos de matéria muito grandes para se aquecerem até brilhar visivelmente, ao atravessarem velozmente a atmosfera (quando então são chamados de

“meteoros”), são vaporizados e se transformam em poeira e vapor, muito antes de atingirem o solo. Isto é também sempre observado em relação a resíduos cometários.

Talvez a maior “chuva de meteoros” registrada pela história tenha sido a de 1833, quando, aos olhos de observadores do leste dos Estados Unidos, as fagulhas pareceram ser espessas como flocos de neve, e os menos avisados pensaram estar as estrelas caindo do céu e o mundo estar chegando ao fim. Ao término da chuva, contudo, todas as estrelas ainda brilhavam no céu, plácidas como sempre. Não faltava nenhuma. E nenhuma das fagulhas atingiu o solo como um objeto que pudesse ser detectado.

Se um pedaço de resíduo que atinge a atmosfera é muito grande, sua rápida passagem pelo ar não basta para vaporizá-lo inteiramente, e uma porção dele, então, chega ao solo em forma de um “meteoríto”. Tais objetos provavelmente nunca se originam de cometas; consistem, antes, em pequenos arranha-Terra surgidos do cinturão de asteróides.

Talvez 5 500 meteoritos já tenham se chocado contra a superfície terrestre em tempos registrados pela história; cerca de um décimo deles se constituía de ferro, enquanto o resto consistia em material rochoso.

Os meteoritos rochosos, a menos que sejam detectados na queda, são difíceis de serem distinguidos das rochas comuns da superfície terrestre por alguém que não seja especialista nesse campo. Os meteoritos ferrosos[35], todavia, são facilmente discrimináveis, pois não existe ferro metálico natural na terra.

Nos tempos em que ainda não sabíamos obter ferro através da fusão do minério de ferro, os meteoritos consistiam em fonte valiosa de um metal duríssimo, empregado na preparação de pontas e arestas de armas e utensílios — eram, conseqüentemente, muito mais valiosos que o ouro, se bem que menos bonitos. Eram tão procurados, que jamais (nos tempos modernos) se encontrou um só fragmento de meteorito ferroso em quaisquer áreas onde a civilização tenha florescido antes de 1500 a.C. As culturas anteriores à Idade do Ferro já os tinham encontrado e usado.

No entanto, os meteoritos descobertos não foram equiparados aos meteoros. Por quê? Um meteorito era simplesmente um pedaço de ferro achado sobre o solo; meteoro era aquela faísca lá no alto, no ar[36]; por que deveria haver conexão entre eles?

É certo que existiam lendas sobre objetos cadentes. A “pedra negra” do Caaba, sagrada para os muçulmanos, pode ser um meteorito que foi visto caindo. O objeto original de veneração no templo de Ártemis, em Éfeso, pode ter sido outro. Os cientistas do início dos tempos modernos, contudo, ignoraram essas histórias, passando a rotular de superstições quaisquer lendas sobre objetos cadentes.

Em 1807, um químico americano de Yale, Benjamin Silliman (1779-1864), e um colega relataram ter assistido à aterrizagem de um meteorito. Ao ouvir o relatório, o Presidente Thomas Jefferson afirmou ser mais fácil crer que os dois professores universitários nortistas mentiam, do que acreditar que pedras caíam do céu. Apesar de tudo, a curiosidade científica fora já atiçada e continuava sendo, graças a diversos relatórios que surgiam, e, enquanto Jefferson permanecia cético, o físico francês Jean-Baptíste Biot (1774-1862) tinha escrito, já em 1803, um relatório sobre meteoritos que levou à aceitação dessas quedas como sendo

fenômenos verdadeiros.

Em sua grande maioria, os meteoritos que caíram em áreas povoadas eram pequenos, nunca causando grandes danos. O único registro a respeito de um ser humano atingido por um meteorito se refere a uma mulher do Alabama, que, há alguns anos, recebeu uma pancada na coxa.

O maior meteorito conhecido ainda repousa no solo da Namíbia, no sudoeste africano. Seu peso é estimado em aproximadamente 66 toneladas.

Dentre os ferrosos, o maior é o que se acha exposto no Planetário Hayden, em Nova York, pesando cerca de 34 toneladas.

Mesmo meteoritos menores que esses poderiam causar consideráveis danos materiais e matar centenas, até milhares de pessoas, se aterrizassem numa área metropolitana densamente povoada. Mas qual é a probabilidade de uma colisão violenta acontecer um dia? Pelo espaço afora, existem algumas montanhas bem grandes à solta, que poderiam causar enormes estragos se nos atingissem.

Poderíamos argumentar que os grandes objetos do espaço (que, naturalmente, são muito menos numerosos que os pequenos) estão em órbitas que não interceptam a da Terra e, assim, nunca se aproximam de nós. Isso explicaria por que, até hoje, não fomos ainda massacrados e, portanto, por que não precisamos temer tal coisa no futuro.

Esse argumento, porém, não é confiável por dois motivos. Em primeiro lugar, mesmo que os grandes meteoritos tenham órbitas que não se cruzem com a nossa, perturbações futuras podem alterar essas órbitas e posicionar o objeto numa trajetória de colisão potencial. Em segundo lugar, *já houve* choques relativamente grandes, digamos, bastante grandes para destruir uma cidade. E se não ocorreram nos tempos registrados pela história, caíram na era geológica imediatamente precedente.

Não é fácil obter-se as provas de tais choques. Imaginemos um grande choque acontecendo há umas centenas de milhares de anos. O meteoro com certeza ter-se-ia enterrado profundamente no solo, de onde não seria facilmente recuperado e estudado. Ele teria também, é claro, provocado a formação de uma grande cratera, porém a ação do vento, da água e da vida tê-la-ia desgastado até o completo desaparecimento em alguns milhares de anos.

Mesmo assim, foram descobertos sinais de formações arredondadas, às vezes cheias ou quase cheias de água, que podem ser facilmente vistas do alto. O formato redondo combinado com características marcadamente distintas das outras formações locais levanta a suspeita da presença de uma "cratera fóssil", suspeita essa passível de confirmação através de observação *in loco.* Talvez vinte dessas crateras já tenham sido localizadas em diferentes pontos da Terra. Supõe-se que elas tenham sido formadas no último milhão de anos.

A maior cratera fóssil definitivamente identificada é a cratera Ungava-Quebec, na península de Ungava, que compõe a maior parte do norte da província canadense de Quebec. Ela foi descoberta em 1950, por Fred W. Chubb, um explorador canadense (por essa razão ela é chamada também de "cratera de Chubb"), a partir de fotografias aéreas que mostravam a existência de um lago circular rodeado por outros lagos menores e igualmente circulares. A cratera tem 3,34 quilômetros de diâmetro e 0,361 quilômetros de profundidade. A margem do

lago tem 0,1 quilômetro de altura acima do nível da paisagem local.

Se uma colisão dessas fosse repetir-se agora em Manhattan, certamente destruiria toda a ilha, causaria severos danos às vizinhas Long Island e Nova Jersey e mataria vários milhões de pessoas.

Menor, mas melhor preservada, é a cratera situada perto da cidade de Winslow, no Arizona. Nessa área, bastante seca, não há água, e a vida fez muito pouco para chegar a erodir a cratera. Ela parece nova até hoje, e lembra muito o tipo de crateras que vemos na Lua.

Foi descoberta em 1891, mas a primeira pessoa a insistir em que ela era produto de um impacto meteorítico, e não um vulcão extinto, foi Daniel Moreau Barringer, em 1902. Por isso, ela *é* denominada "grande cratera meteorítica de Barringer" ou, simplesmente, "cratera meteorítica".

A cratera meteorítica tem 1,2 quilômetro de ponta a ponta e 0,18 quilômetro de profundidade. Sua margem tem quase 0,06 quilômetro de altura acima do nível da paisagem local. Pode ter-se formado há já 50 000 anos, embora outras estimativas sugiram apenas 5 000 anos. O peso do meteorito que produziu a cratera foi estimado por diversas pessoas como sendo algo entre 12 000 e 1,2 milhão de toneladas. O que significa que seu diâmetro era cerca de 0,075 a 0,360 quilômetro.

Mas tudo isso faz parte do passado. O que podemos esperar do futuro? O astrônomo Ernst Opik calcula que um arranha-Terra deveria percorrer sua órbita durante uma média de 100 milhões de anos antes de colidir com a Terra. Se supusermos existirem 2 000 desses objetos com tamanho suficiente para destruir uma cidade ou algo pior que isso, se se chocarem conosco, então o intervalo médio de tempo entre tais calamidades se reduz para somente 50 000 anos.

Quais as chances de um alvo específico — digamos, a cidade de Nova York — ser atingido? A área de Nova York corresponde a 1,5 milionésimo da da Terra. Isso quer dizer que o intervalo médio entre colisões possíveis de devastar Nova York *é* de cerca de 33 bilhões de anos. Se admitirmos que a área total de cidades grandes densamente povoadas da Terra é cem vezes a de Nova York, o intervalo médio entre colisões destruidoras de cidades em algum lugar da Terra é de 330 milhões de anos.

Não há por que perdermos o sono com isso; nesse sentido, não é surpreendente o fato de não figurar nos anais formais da civilização humana (cuja idade é apenas de 5 000 anos) nenhuma descrição clara de uma cidade sendo destruída por um meteorito[37].

Um grande meteorito não precisa chocar-se diretamente contra uma cidade para danificá-la. Se for de encontro ao oceano — coisa que, em termos de probabilidade, será feita por sete entre dez meteoritos —, provocará um macaréu que devastará as costas continentais, afogando pessoas e destruindo obras da humanidade. Se o tempo médio entre colisões é de 50 000 anos, a média entre macaréus induzidos por meteoritos seria de 71 000 anos.

O pior de tudo é que, até agora, não há possibilidade de se prever a chegada de qualquer meteorito. Ele, provavelmente, seria bastante pequeno e moverse-ia suficientemente rápido para alcançar a atmosfera terrestre sem ser percebido. Quando começasse a brilhar, restariam uns poucos minutos antes do choque.

Se a devastação de uma grande colisão meteorítica é de algum modo menos improvável que qualquer das outras catástrofes apresentadas até aqui, delas difere em dois aspectos. Em primeiro lugar, embora possa ser desastrosa e causar prejuízos indescritíveis, ela de modo algum é capaz de ser catastrófica como seria a transformação do Sol em uma gigante vermelha.

Um meteorito não pode destruir a Terra ou extinguir toda a humanidade ou, mesmo, arrasar a nossa civilização. Em segundo lugar, talvez não demore muito até que esse tipo específico de desastre se torne totalmente evitável, até mesmo antes de o próximo choque acontecer.

Estamos nos aventurando cada vez mais pelo espaço afora; talvez neste mesmo século já contemos com sofisticados observatórios astronômicos na Lua e em órbita ao redor da Terra. Sem a interferência da atmosfera, os astrônomos em tais observatórios terão melhores condições de detectar os arranha-Terra. Poderão observar mais de perto esses corpos perigosos e delinear mais cuidadosa e precisamente suas órbitas. Isso incluirá os arranha-Terra que são pequenos demais para serem vistos da superfície terrestre, mas ainda suficientemente grandes para destruir uma cidade e que, por serem mais numerosos, oferecem muito mais riscos que as gigantes vermelhas.

Então, talvez daqui a cem ou mil anos, algum astrônomo espacial erguesse os olhos de seu computador e dissesse: “Órbita de contato imediato!” E um contra-ataque planejado e pronto para ser acionado por décadas ou séculos seria posto em ação. A perigosa rocha seria cuidadosamente espreitada até que, em certa posição do espaço (convenientemente pré-calculada), algum poderoso projétil fosse enviado para interceptá-la e explodi-la. A rocha brilharia e vaporizar-se-ia, transformando-se num aglomerado de pedregulhos. A Terra evitaria o perigo expondo-se, na pior das hipóteses, a uma espetacular chuva de meteoros.

Finalmente, talvez todo objeto que denotasse o mínimo potencial de risco e que fosse considerado pelos astrônomos como não tendo maior valor científico, seria explodido. Este tipo específico de desastre não mais precisaria nos preocupar.

8 — REDUÇÃO DO MOVIMENTO TERRESTRE

MARÉS

Como já disse, a possibilidade de uma catástrofe do terceiro grau — a destruição da Terra como um reduto para a vida por algum processo que não envolva o Sol — através de invasões do espaço além da órbita da Lua não é algo com que devamos nos preocupar. Isso é ou muito improvável ou não verdadeiramente catastrófico ou, em alguns casos, chega a ponto de se tornar evitável. Devemos então nos perguntar se existe qualquer coisa que possa produzir uma catástrofe do terceiro grau que não envolva objetos vindos de além do sistema Terra-Lua. Para começar, pois, devemos considerar a própria Lua.

Dentre todos os corpos celestes de bom tamanho, a Lua é, certamente, o mais próximo da Terra. A distância da Lua à Terra, de centro a centro, é de 384 404 quilômetros. Se a órbita lunar à volta da Terra fosse perfeitamente circular, essa seria sempre sua distância. No entanto, a órbita é levemente elíptica, de modo que a Lua pode chegar a distar apenas 354 394 quilômetros e retroceder até 406 678 quilômetros.

A Lua está a apenas um centésimo da distância de Vênus, quando este planeta está mais próximo da Terra; a só 1/140 da distância de Marte, quando mais próximo, e 1/390 da distância do Sol, também quando mais próximo daqui. Nenhum objeto maior que o asteróide Hermes (visto apenas uma vez), que com certeza não terá mais de 1 quilômetro de extensão, jamais chegou tão perto da Terra quanto a Lua.

Exemplificando a proximidade da Lua de outra maneira: ela é o único corpo celeste (até agora) próximo o suficiente para ser alcançado pelos seres humanos, de modo que podemos dizer que ela está a três dias de distância de nós. Chegar à Lua de foguete demora tanto quanto atravessar os Estados Unidos de trem.

Será que a extraordinária proximidade da Lua é em si um perigo? Será que ela pode, por alguma razão, cair e chocar-se contra a Terra? Se tal acontecesse, configurar-se-ia um quadro de calamidade muito mais grave do que qualquer colisão com um asteróide, pois a Lua é um corpo bastante grande. Ela tem um diâmetro de 3 476 quilômetros, um pouco mais de um quarto do da Terra. Sua massa corresponde a 1/81 da terrestre e a cinqüenta vezes a do maior asteróide conhecido.

Se a Lua caísse sobre a Terra, as conseqüências da colisão seriam com certeza fatais a toda a vida sobre nosso planeta. Ambos os astros se esmagariam no processo. Felizmente, como já disse de passagem no capítulo anterior, não há a mais remota possibilidade de isso ocorrer, exceto como parte de uma catástrofe ainda maior. O momento angular da Lua não pode ser anulado repentina e completamente de modo que ela caia, no sentido habitual da palavra, a

não ser pela transferência para algum terceiro corpo relativamente grande aproximando-se bastante e vindo exatamente na direção certa e com a velocidade adequada. A probabilidade de isso acontecer é totalmente negligenciável; podemos, assim, afastar quaisquer receios de a Lua não permanecer em sua órbita.

Nem precisamos temer que algo aconteça à Lua envolvendo somente a ela mesma e, conseqüentemente, contendo os germes da catástrofe terrestre. Não há, por exemplo, a mínima possibilidade de a Lua explodir e sermos banhados com seus fragmentos. Geologicamente, a Lua está quase morta, e seu calor interno não basta para produzir quaisquer efeitos que modifiquem perceptivelmente sua estrutura ou mesmo sua superfície.

De fato, podemos seguramente admitir que a Lua permanecerá como é hoje, excetuando-se mudanças excessivamente vagarosas, e que seu corpo físico não nos oferecerá perigo até que o Sol se expanda e se transforme em gigante vermelha, quando tanto a Lua como a Terra serão destruídas.

Todavia, não é preciso que a Lua nos atinja por inteiro ou só com parte dela, para nos afetar. Ela exerce uma influência gravitacional através do espaço, e essa influência gravitacional é forte. Na verdade, essa força é apenas sobrepujada pela do Sol.

A influência gravitacional de qualquer objeto celeste sobre a Terra depende da massa desse objeto, e o Sol tem uma massa 27 milhões de vezes maior que a da Lua. Entretanto, a influência gravitacional também decresce proporcionalmente ao quadrado da distância. A distância do Sol à Terra é 390 vezes a da Lua (à Terra), e 390 X 390 =152 100. Se dividirmos 27.000.000 por isso, concluiremos que a atração gravitacional do Sol sobre a Terra é 178 vezes maior que a atração gravitacional da Lua sobre nós.

Embora a atração da Lua sobre a Terra seja apenas 0,56 por cento da solar, é ainda muito maior que qualquer outra força gravitacional sobre nós.

Comparando-se as forças de diferentes astros sobre o nosso planeta, a da Lua é 106 vezes maior que a de Júpiter, quando este se encontra no ponto mais próximo daqui, e 167 vezes a de Vênus, na mesma situação. A força gravitacional de outros objetos celestes sobre a Terra é ainda menor.

Será que a atração gravitacional da Lua sobre nós pode, então, ser o germe da catástrofe, já que é tão grande em comparação com as de todos os outros astros, à exceção do Sol? A resposta poderia, à primeira vista, parecer negativa, na medida em que a força gravitacional do Sol é muito maior que a da Lua. Já que o primeiro não causa problemas, por que a última deveria causá-los?

Isto seria verdadeiro se os objetos celestes reagissem a forças gravitacionais igualmente em todos os pontos — mas não é assim. Voltemos à análise dos efeitos das marés, mencionados anteriormente, e consideremos esse assunto em detalhe com respeito à Lua.

A superfície terrestre voltada para a Lua está a uma distância média de 378 026 quilômetros do centro da Lua. Quanto à superfície oposta, devido à espessura da Terra, ela dista do centro da Lua 390 782 quilômetros.

A força da atração gravitacional da Lua diminui proporcionalmente ao quadrado da distância. Assim, se se chamar 1 à distância do centro da Terra ao da Lua, então a distância da

superfície terrestre diretamente voltada para a Lua será 0,983, e a distância da superfície exatamente oposta à Lua será 1,017.

E mais: se se estabelecer a medida 1 para a força gravitacional lunar sobre o centro da Terra, ter-se-á que a pressão sobre a superfície terrestre de frente para a Lua será de 1,034, e a pressão sobre a superfície oposta, 0,966.

Isso significa que a força da Lua sobre a superfície mais próxima é 7 por cento maior que sobre a superfície mais afastada.

O resultado da diferença de pressão lunar sobre a Terra, de acordo com a distância, é que a Terra se estende na direção da Lua. O lado voltado para a Lua sofre maior atração que o centro, que, por sua vez, é mais atraído que o lado oposto à Lua.

Conseqüentemente, a Terra infla em ambos os lados. Um bojo se forma em direção à Lua, mais que qualquer outra porção da estrutura terrestre. O outro bojo fica do lado oposto à Lua, revestindo o resto, por assim dizer.

Na medida em que a Terra é composta por rocha sólida, que não cede nem a fortes pressões, o bojo formado no corpo sólido da Terra é pequeno — mas está presente. A água dos oceanos, contudo, é mais flexível e forma um bojo maior.

À medida em que a Terra gira, os continentes atravessam o bojo maior de água voltado para a Lua. A água avança alguma distância na linha litorânea e aí retrocede de novo — uma maré alta e uma maré baixa. No outro lado da Terra, oposto à Lua, os continentes a girar atravessam o outro bojo cerca de doze horas e meia mais tarde (a meia hora extra se deve ao fato de que a Lua, no intervalo, se moveu um pouco). Resultam, assim, duas marés altas e duas marés baixas por dia.

Ocorre que o efeito das marés produzido na Terra por qualquer corpo é proporcional à sua massa, mas decresce de acordo com o *cubo* de sua distância. O Sol, como já disse, é 27 milhões de vezes mais maciço que a Lua e 390 vezes mais distante da Terra. O cubo de 390 é aproximadamente 59,3 milhões. Se dividirmos a massa do Sol (relativa à Lua) pelo cubo de sua distância (relativa à Lua), acharemos que o efeito das marés produzido pelo Sol sobre a Terra corresponde a 0,46 do da Lua.

Concluímos, pois, que a Lua é o maior responsável pelas marés terrestres, tendo o Sol um papel secundário. Todos os outros corpos celestes não exercem efeito de marés sobre a Terra.

Agora devemos perguntar se a existência de marés pode, de alguma forma, pressagiar uma catástrofe.

O DIA MAIS LONGO

Falar de marés e catástrofes como uma só coisa parece estranho.

Sempre, em toda a história humana, existiram marés, as quais foram sempre perfeitamente

regulares e previsíveis. Além disso, úteis, na medida em que os navios geralmente se moviam graças à inversão da maré cheia, quando a água os levantava bem acima de quaisquer obstáculos invisíveis e a água, retrocedendo, empurrava-os na direção desejada.

Mais ainda, as marés podem se tornar úteis, no futuro, de uma outra forma. Na maré cheia, a água poderia ser desviada para dentro de uma represa de onde poderia emergir, quando a maré baixasse, para acionar uma turbina. As marés poderiam, dessa maneira, prover o mundo de um interminável manancial de eletricidade. Nesse caso, onde cabe a catástrofe?

Bem, à medida em que a Terra gira e a terra seca passa pelo bojo de água, esta ao se aproximar e se afastar da praia precisa superar a resistência do atrito ao fazê-lo, não só da própria praia mas também daquelas porções do fundo do mar onde o oceano é particularmente raso. Parte da energia da rotação terrestre se consome para superar o atrito.

Além disso, conforme a Terra gira, o corpo sólido do planeta também infla, embora três vezes menos que o oceano. No entanto, o bojo terrestre se produz às custas do atrito entre rochas, à medida em que a crosta vai se movimentando e ajustando. Parte da energia da rotação terrestre se consome também nesse processo. Na verdade, a energia não se consome. Ela não desaparece: transforma-se em calor. Em outras palavras, por causa das marés, a Terra ganha calor e perde um pouco de sua velocidade de rotação. O dia fica mais longo.

A Terra é tão maciça e gira tão depressa que tem uma enorme reserva de energia. Mesmo que muito dela (em termos humanos) se consumisse e se transformasse em calor ao superar o atrito da maré, o dia ficaria ligeiramente mais longo. Ainda assim, mesmo um ligeiro aumento no dia teria um efeito cumulativo.

Por exemplo, suponhamos que o dia começasse com a duração atual de 86 400 segundos e que ficasse 1 segundo mais longo em média a cada ano. No final de cem anos, o dia duraria mais 100 segundos, ou mais 1 minuto e 1/3. Mal se perceberia a diferença.

Suponhamos, porém, que se marcasse o início de um século com um relógio preciso. No segundo ano, o ganho seria de 1 segundo por dia em comparação com o Sol; no terceiro ano, 2 segundos; no quarto ano, 3 segundos, e assim por diante. No final do século, após 36 524 dias, o relógio teria registrado 36.534,8 dias de 86 400 segundos cada. Resumindo: simplesmente com o aumento de 1 segundo por ano, acumularíamos um erro de quase 11 horas em um só século.

É claro que o dia, na realidade, vai se tornando cada vez mais longo com uma marcha mais lenta.

Na Antigüidade, certos eclipses foram registrados como tendo acontecido numa certa hora do dia. Calculando regressivamente, damo-nos conta de que eles deveriam ter ocorrido em horário diverso. A discrepância é o resultado cumulativo de um vagarosíssimo aumento do dia.

Poder-se-ia argumentar que os povos antigos possuíam apenas os mais primitivos métodos de marcar o tempo e que todo o seu conceito de registro temporal era diferente do nosso. Portanto, é arriscado deduzir qualquer coisa a partir do que eles disseram sobre o horário dos eclipses.

Mas não é só o tempo que conta. Um eclipse total do Sol apenas pode ser visto de uma

pequena área da Terra. Se, digamos, um eclipse fosse acontecer somente uma hora antes da calculada, a Terra teria tido menos tempo para girar e, na zona temperada, o eclipse teria ocorrido a talvez 1 200 quilômetros mais a leste do que nossos cálculos teriam indicado.

Mesmo se não confiarmos completamente no que afirmavam os povos antigos a respeito do horário de um eclipse, podemos estar certos de que eles registraram acuradamente o *local* de ocorrência — e isso nos dirá o que queremos saber. A partir de seus registros, conhecemos o total do erro cumulativo e, conseqüentemente, a taxa de aumento do dia. Foi assim que descobrimos que o dia terrestre está aumentando à velocidade de 1 segundo a cada 62 500 anos.

O que está muito longe de ser catastrófico. O dia, hoje, é cerca de 1/14 de um segundo mais longo do que era quando as pirâmides foram construídas. Naturalmente, essa diferença é muito pequena para ser ignorada.

Naturalmente?!? Mas os tempos históricos são um instante em comparação com as eras geológicas. O acréscimo é de 16 segundos em 1 milhão de anos e há muitos milhões de anos na história da Terra.

Consideremos a situação de 400 milhões de anos atrás, quando a vida, que já existia no mar há quase 3 bilhões de anos, finalmente começava a sair para a terra firme. Nos últimos 400 milhões de anos, o dia teria ganho 6.400 segundos se a atual taxa de aumento se tivesse mantido constante durante todo esse tempo.

Assim, há 400 milhões de anos, o dia teria sido 6 400 segundos mais curto do que é hoje. Já que 6 400 segundos é o mesmo que 1,8 hora, a vida teria se arrastado das águas para a terra num mundo em que o dia tinha apenas 22,2 horas. Como não há razão para se supor que a duração do ano mudou naquele intervalo, isso também significaria que houve 395 desses dias mais curtos em um ano.

Isso é só especulação. Podemos achar provas diretas? Existem fósseis de corais que, aparentemente, datam de uns 400 milhões de anos. Esses corais crescem a uma velocidade durante o dia que é diversa daquela durante a noite, e a diferentes velocidades no verão e no inverno. Resulta, então, que há marcas em suas conchas, como os anéis de árvores, que medem tanto os dias como os anos.

Em 1963, o paleontologista americano John West Wells estudou meticulosamente esses fósseis de corais e descobriu umas 400 marcas finas para cada marca grossa. Isso significaria que havia cerca de 400 dias no ano, há 400 milhões de anos passados. O que indica que cada dia durava 21,9 horas.

Isso está bem próximo de nossos cálculos. Surpreendentemente próximo, na realidade, pois que há razões para pensar que a taxa de crescimento do dia (ou diminuição, se se volta no tempo) não é necessariamente constante. Existem fatores que mudam a taxa de perda de energia de rotação. A distância da Lua (como logo veremos) muda com o tempo; o mesmo se dá com a configuração dos continentes, a profundidade dos mares, e assim por diante.

Entretanto, suponhamos (só por passatempo) que o dia vem aumentando a uma velocidade constante durante toda a história da Terra.

Nesse caso, qual a velocidade de rotação da Terra há 4,6 bilhões de anos, quando se

formou? É fácil calcular que, admitindo-se a constância da modificação na duração do dia, o período de rotação da Terra, quando de seu nascimento, deve ter sido de 3,6 horas.

É claro que não é necessariamente assim. Cálculos mais sofisticados indicam que o dia mais curto deve ter tido 5 horas. Também é possível que a Lua não tenha acompanhado a Terra desde o começo; que ela foi de algum modo capturada em algum período posterior à formação da Terra e que o fato de as marés se tornarem mais lentas começou mais recentemente, talvez bem recentemente. Nesse caso, o dia pode ter durado 10 ou até 15 horas, nos primeiros dias de vida do planeta.

Até aqui, não podemos ter certeza de nada. Não temos prova direta das durações do dia no início da história terrestre.

De qualquer maneira, um dia mais curto no passado longínquo não tem, em si, grande importância para a vida. Um certo ponto da Terra teria menos tempo para se aquecer durante um dia curto e menos tempo para se resfriar durante uma noite curta. As temperaturas da Terra primitiva tenderiam, portanto, a ser algo mais equiparáveis do que hoje, e é bem óbvio que os organismos vivos poderiam viver — e realmente viveram — com elas. Na verdade, as condições daquele tempo podem ter sido mais favoráveis à vida do que agora.

Mas o que dizer do futuro e do contínuo aumento do dia?

O RECUO DA LUA

Com o passar dos milhões de anos, o dia continuará a se tornar mais longo, já que as marés não cessarão. Onde iremos parar? Podemos imaginar o fim se considerarmos a Lua, sujeita à influência das marés por parte da Terra, assim como a Terra se sujeita à da Lua.

A Terra tem 81 vezes a massa da Lua; assim, se todas as coisas fossem iguais, a influência das marés sobre a Lua deveria ser 81 vezes maior que a da Lua sobre nós. No entanto, nem tudo é igual. A Lua é menor que a Terra, sendo que a distância de extremo a extremo da Lua representa apenas um pouco mais que um quarto da distância de extremo a extremo da Terra.

Por essa razão, a força gravitacional terrestre sofre uma queda de um lado e de outro da Lua, o que causa a diminuição do efeito das marés. Por causa do tamanho da Lua, a força das marés aplicada pela Terra sobre a Lua é 32,5 vezes maior que a da Lua sobre a Terra.

Isso ainda significa que a Lua está sujeita a muito maiores perdas friccionais enquanto gira e, por ter uma massa consideravelmente menor que a da Terra, tem menos energia rotacional a perder. O período rotacional lunar, assim, deve ter-se encompridado bem mais rapidamente que o terrestre, devendo então, agora, ser bastante longo.

E assim é. O período de rotação da Lua em relação às estrelas é hoje de 27,3 dias — exatamente o mesmo que o período de translação em volta da Terra em relação às estrelas, de modo que a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra, enquanto gira.

Isso não é coincidência. O período de rotação lunar se tornou mais lento até ficar tão

vagaroso a ponto de voltar sempre a mesma face para a Terra. Isto feito, o bojo das marés sempre esteve presente nos mesmos pontos da superfície lunar; um sempre de frente para a Terra, do lado que a Terra sempre o viu, e outro sempre oposto à Terra, do lado jamais visto pela Terra. A Lua não gira por mais tempo em relação a esse bojo e nem mais existe conversão friccional de energia de rotação em calor. A Lua está como que gravitacionalmente travada, por assim dizer.

Se a rotação terrestre está se tornando mais lenta, um dia virá em que ela girará tão vagarosamente que sempre terá um só lado voltado para a Lua e também ela estará gravitacionalmente travada.

Isso quer dizer que a Terra girará tão devagar que a duração de seus dias será igual a 27,3 dos dias atuais? Não, pior que isso, pelo seguinte motivo: pode-se converter a energia de rotação em calor, pois isso é questão de transformar uma modalidade de energia em outra, o que não viola as leis da conservação de energia. Todavia, um objeto em rotação também tem momento angular — e isso não pode ser convertido em calor. Só pode ser transferido.

Se considerarmos o sistema Terra-Lua, ambas possuem momento angular por duas razões: cada uma gira ao redor de um eixo próprio e translada ao redor de um centro de gravidade comum. O último está situado na linha que une o centro da Lua e o centro da Terra. Se a Terra e a Lua fossem exatamente iguais em termos de massa, o centro de gravidade comum se localizaria na metade da distância entre ambas. Como a Terra é mais maciça que a Lua, o centro de gravidade comum se situa mais perto do centro terrestre. De fato, porque a Terra é 81 vezes mais maciça que a Lua, o centro comum de gravidade está 81 vezes mais distante do centro da Lua do que o da Terra.

Isso indica que o centro comum de gravidade está localizado (se considerarmos a Lua como estando em sua distância média da Terra) a 4.746 quilômetros do centro terrestre e a 379 658 quilômetros do centro lunar. O centro de gravidade comum está, pois, 1 632 quilômetros abaixo da superfície da Terra, no lado voltado para a Lua.

Enquanto a Lua percorre uma elipse maior em volta do centro comum de gravidade a cada 27,3 dias, o centro terrestre percorre uma elipse bem menor ao redor do mesmo centro nos mesmos 27,3 dias. Os dois corpos se movem de uma maneira tal que o centro lunar e o terrestre sempre ficam em lados exatamente opostos do centro comum de gravidade.

À medida em que a Lua e a Terra aumentam seus períodos de rotação por efeito do atrito das marés, ambas perdem momento angular de rotação. A fim de preservar a lei da conservação do momento angular, cada uma deve ganhar momento angular associado com sua translação ao redor do centro de gravidade, compensando exatamente a perda de momento angular associado à sua rotação ao redor do próprio eixo. A forma de aumentar o momento angular de translação é moverem-se para mais longe do centro comum de gravidade e, assim, oscilarem mais em torno dele.

Em outras palavras, à medida em que a Lua ou a Terra, ou ambas, aumentam seus períodos de rotação, elas se afastam uma da outra e, desse modo, o momento angular total do sistema Terra-Lua permanece o mesmo.

Num passado longínquo, quando a Terra girava mais rápido ao redor de seu eixo e a Lua ainda não tinha se tornado vagarosa até o ponto de trava gravitacional, os dois corpos estavam

mais próximos um do outro. Se eles tinham mais momento angular de rotação, possuíam menos momento angular de translação. Quando a Lua e a Terra estavam mais próximas, naturalmente moviam-se uma em torno da outra em menos tempo.

Assim, há 400 milhões de anos, quando o dia terrestre durava apenas 21,9 horas, a distância entre os centros da Lua e da Terra era somente 96 por cento do que é agora. A Lua estava a apenas 370 000 quilômetros da Terra.

Se calcularmos regressivamente dessa maneira, concluiremos que, há 4,6 bilhões de anos, quando a Terra acabara de ser formada, a Lua distava dela somente 217 000 quilômetros, pouco mais que metade da distância atual.

O cálculo não é justo, pois à medida em que a Lua vai se aproximando da Terra (voltando os olhos para o passado), o efeito das marés se torna maior, desde que todas as outras condições se mantenham constantes. É provável que nos primórdios da história da Terra, a Lua tenha estado ainda mais próxima, talvez a apenas 40 000 quilômetros.

Olhando para o futuro, agora, à medida em que o período de rotação da Terra se reduz, a Lua e a Terra vagarosamente se separam. A Lua está lentamente espiralando para longe da Terra. Cada translação à volta da Terra aumenta sua distância média de aproximadamente 2,5 milímetros.

A rotação da Lua se tornará mais lenta muito gradualmente, de modo que continuará a combinar com a crescente duração do mês. Finalmente, quando o período de rotação terrestre aumentar até que ela, também, sempre tenha o mesmo lado voltado para a Lua, esta terá recuado tanto que o mês se comporá de 47 dias. Então, a rotação lunar durará 47 dias atuais a mais que a da Terra. Os dois corpos volverão rigidamente, como um haltere com um eixo invisível. A Terra e a Lua estarão, então, separadas, de centro a centro, por uma distância de 480 000 quilômetros.

A APROXIMAÇÃO DA LUA

Se não existissem efeitos de marés sobre a Terra ou sobre a Lua, a translação do haltere persistiria para sempre. Todavia, ainda existiriam os efeitos das marés exercidos pelo Sol. Esses efeitos funcionariam de um modo um tanto complexo e que aumentaria a velocidade das rotações da Terra e da Lua, atraindo os dois corpos um para o outro, em ritmo mais lento que aquele pelo qual eles estão agora se separando. Aparentemente, essa crescente proximidade continuaria indefinidamente, de modo que a Lua, poder-se-ia supor, acabaria por cair sobre a Terra (embora eu tenha começado dizendo que isso não poderia acontecer), já que seu momento angular de translação, no final, será transferido totalmente para o momento angular de rotação.

Porém, ela não cairá no sentido habitual do termo, mas avançará em nossa direção numa espiral decrescente, extremamente lenta e gradual. Mesmo nesse sentido, não cairá realmente, porque não haverá nenhum contato direto.

À medida em que os dois corpos forem se aproximando, os efeitos das marés aumentarão à razão do cubo da distância decrescente. Quando ambos estiverem separados, de centro a centro, por uma distância de apenas 15.500 quilômetros, de forma que as duas superfícies se encontrem separadas por somente 7.400 quilômetros, os efeitos de marés da Lua sobre a Terra serão 15 000 vezes mais fortes que atualmente. Por seu lado, a Terra estará exercendo esse efeito sobre a Lua com uma força 32,5 vezes maior, ou quase 500 000 vezes o efeito das marés lunares sobre a Terra, hoje.

Nessa época, então, a força das marés sobre a Lua será tão grande que esta simplesmente se romperá e se quebrará em pequenos fragmentos, que, por colidirem, se fragmentarão ainda mais, espalhando-se pela órbita lunar, e a Terra acabará tendo um anel — como os de Saturno, mas muitíssimo mais brilhante e denso.

E o que acontecerá à Terra enquanto tudo isso ocorrer?

À medida em que a Lua for se aproximando da Terra, o efeito das marés sobre a Terra crescerá enormemente. A Terra não correrá o risco de se quebrar, porque o efeito sobre ela será consideravelmente menor que o seu sobre a Lua. Além disso, seu maior campo gravitacional manterá mais eficientemente sua estrutura intata, em contraposição às forças das marés, do que no caso da Lua. E, obviamente uma vez a Lua tendo se estilhaçado e estando o campo gravitacional de seus fragmentos distribuído regularmente ao redor da Terra, o efeito das marés fica muito menor.

Entretanto, pouco antes do despedaçamento da Lua, as marés na Terra serão tão gigantescas que o oceano, formando bojos de alguns quilômetros de altura, arremessarse-á inteiramente sobre os continentes, de lado a lado.

Como o período rotacional terrestre pode ser de menos de dez horas na ocasião, as marés estarão subindo e baixando a cada cinco horas.

Não parece que a terra ou o mar possam ser estáveis o bastante, sob tais condições, para sustentar qualquer coisa além de formas altamente especializadas de vida, provavelmente de estrutura muito simples.

Certamente, pode-se pensar que os seres humanos, se ainda existirem, poderão desenvolver uma civilização subterrânea à medida em que a Lua se aproximar (realmente seria uma aproximação muito vagarosa, que de modo algum estaria vindo de surpresa). Isso, contudo, não os salvaria, pois, sob as forças das marés, o globo terrestre ficaria sujeito a constantes terremotos.

Não há, todavia, nenhum motivo para nos preocuparmos com o destino da Terra quando a Lua se aproximar demais, porque, na verdade, a Terra já terá se tornado inabitável bem antes.

Suponhamos a Terra e a Lua completando a volta uma em torno da outra, como um haltere,. a cada 47 dias. Nesse caso, podemos deduzir que a Terra já seria um mundo morto. Imaginemos a superfície da Terra exposta à luz solar por um período de 47 dias. A temperatura com certeza seria a da ebulição da água. Imaginemos a superfície terrestre exposta à escuridão por um período de 47 dias. A temperatura seria a da Antártida.

Naturalmente, as regiões polares ficam expostas à luz solar por até mais de 47 dias de uma só vez, mas isso quando o Sol está baixo no horizonte. Numa Terra girando lentamente, as

regiões tropicais estariam sujeitas a um Sol tropical por 47 dias — o que é bem diferente.

Os extremos de temperatura fariam a Terra inabitável para a maioria das formas de vida. Pelo menos assim seria na superfície, embora possamos imaginar seres humanos estabelecendo uma civilização subterrânea, como mencionei há pouco.

E, no entanto, não precisamos nem nos preocupar com o sistema Terra-Lua em forma de haltere, porque, por sorte, isso jamais acontecerá.

Se o dia terrestre está ganhando 1 segundo a cada 62 500 anos, então nos 7 bilhões de anos em que o Sol permanecerá na seqüência principal, o dia ganharia umas 31 horas e teria a duração de 2,3 dos nossos dias.

Contudo, a Lua estará recuando nesse intervalo e seu efeito de marés estará diminuindo, e assim seria justo dizer que, ao fim do período de 7 bilhões de anos, o dia terrestre teria aproximadamente o dobro da duração atual.

Ele não teria possibilidade de se estender mais, nem de chegar até o ponto de fazer da Terra e da Lua um haltere, e muito menos de começar a espiralar para desenvolver aqueles anéis magníficos. Bem antes de qualquer coisa assim acontecer, o Sol se expandirá até o estágio de uma gigante vermelha e destruirá tanto a Terra quanto a Lua.

Segue-se, portanto, que a Terra continuará habitável no que diz respeito a seu período de rotação enquanto ela existir, embora com um dia duplo, quando os extremos de temperatura durante o dia e a noite seriam maiores que agora, e um pouco incômodos.

No entanto, a humanidade terá certamente deixado o planeta até lá (desde que a humanidade sobreviva àqueles bilhões de anos); a dilatação solar terá sido responsável por isso, e não a diminuição na velocidade de rotação.

9 — A FORMAÇÃO SEDIMENTAR DA CROSTA

CALOR INTERNO

Já que parece improvável que grandes corpos do exterior (nem mesmo a Lua) ameacem seriamente a Terra enquanto o Sol permanecer na seqüência principal, vamos deixar o resto do universo de lado um pouco: e concentrar nossa atenção no planeta Terra.

É possível a ocorrência de alguma catástrofe que envolva a própria Terra na ausência de outro corpo intruso? Por exemplo, o planeta pode explodir repentinamente e sem aviso prévio? Ou quebrar-se em dois? Ou sua integridade ser abalada tão drasticamente a ponto de configurar uma catástrofe do terceiro grau, pondo fim ao aspecto de habitabilidade na Terra?

Afinal de contas, a Terra é um corpo excessivamente quente; só sua superfície é moderada.

A fonte original do calor era a energia cinética proveniente do movimento dos pequenos corpos que se acumulavam e se chocavam para formar a Terra, há cerca de 4,6 bilhões de anos. A energia cinética era convertida em calor suficiente para derreter o interior. E o interior da Terra não esfriou desde então. Para começar, as camadas mais externas de rochas são bons isolantes e conduzem o calor muito lentamente. Graças a isso, pouco calor escoa da Terra para o espaço que a circunda.

É claro que uma pequena quantidade escoa, pois não há um isolante perfeito, mas, mesmo assim, não ocorre nenhum resfriamento. Nas camadas mais externas da Terra existem certas variedades de átomos radioativos.

Quatro deles são particularmente importantes: o urânio 238, o urânio 235, o tório 232 e o potássio 40. Estes se rompem muito vagarosamente e, no curso de todos os bilhões de anos de existência terrestre, alguns de cada variedade de átomos permanecem intatos. É verdade que a maior parte do urânio 235 e do potássio 40 já se extinguiu, porém somente se foram metade do urânio 238 e um quinto do tório 232.

Será necessário retomarmos isso, vez por outra, em relação a corpos de pequenas dimensões.

A energia do rompimento se converte em calor e, embora a quantidade de calor produzida pela quebra de um único átomo seja insignificante, o total de calor produzido por inúmeros átomos que se rompem pelo menos compensa a quantidade de calor perdida do interior da Terra. Por conseguinte, a Terra está mais ganhando que perdendo calor.

Será então possível que esse interior, absurdamente quente (e algumas estimativas afirmam que a temperatura no centro chega a 2 700°C), possa produzir uma força de expansão tal que romperá a crosta fria como uma poderosíssima bomba planetária, deixando apenas um cinturão de asteróides onde antes existia a Terra?

Na realidade, o que parece tornar essa possibilidade plausível é o fato de que *há* um cinturão de asteróides entre as órbitas de Marte e Júpiter. De onde veio esse cinturão? Em 1802, o astrônomo alemão Heinrich W. M. Olbers (1758-1840) descobriu o segundo asteróide, Palas, e imediatamente passou a especular sobre a probabilidade de os dois asteróides, Ceres e Palas, serem pequenos fragmentos de um grande planeta que já havia orbitado entre Marte e Júpiter e tinha explodido. Agora que sabemos existirem dezenas de milhares de asteróides, a maioria deles com menos de 2 quilômetros de lado a lado, aquele pensamento poderia parecer ainda mais plausível.

Outro ponto de evidência que parece apontar nessa direção é representado pelos meteoritos que aterrizam na Terra (e que, acredita-se, originam-se do cinturão de asteróides); cerca de 90 por cento deles são rochosos e 10 por cento, de níquel e ferro. Isso leva à suposição de que sejam fragmentos de um planeta com um centro de níquel e ferro e um manto rochoso envolvente.

A Terra tem essa composição, com seu centro consistindo em 17 por cento do volume do planeta. Marte é um pouco menos denso que a Terra e deve, portanto, ter um centro (a parte mais densa do planeta) menor que o da Terra, em proporção ao resto do planeta. Se o planeta explodido fosse como Marte, isso explicaria a proporção de meteoritos rochosos e níquel-ferrosos.

Há mesmo aproximadamente 2 por cento dos meteoritos rochosos que são “condritos carbonados” e contêm quantidades significativas de elementos leves — até água e compostos orgânicos, que poderiam ser concebidos como tendo se originado na camada mais externa da crosta do planeta explodido.

E, contudo, essa teoria da origem explosiva dos asteróides, mesmo que pareça tão adequada, não é aceita pelos astrônomos. A melhor estimativa que temos da massa total dos asteróides é que ela chega a aproximadamente um vigésimo da da Lua. Se todos os asteróides fossem um só corpo, ele teria um diâmetro de cerca de 1 600 quilômetros. Quanto menor o corpo, menos calor em seu centro e menos razão para explodir. Parece extremamente improvável que um corpo com dimensões de um satélite médio pudesse explodir.

Parece muito mais provável que, enquanto Júpiter crescia, era tão eficiente em arrebatar para si a massa adicional das vizinhanças (graças à sua massa já grande) que deixou muito pouco no que agora é o cinturão de asteróides para acumulação e formação de um planeta. Realmente, deixou tão pouco que Marte não pôde crescer tanto quanto a Terra e Vênus. Pois a matéria-prima disponível se esgotara.

Pode ser, então, que a matéria do asteróide sendo pequena demais em massa gerou um campo gravitacional total demasiadamente pequeno para unir tudo num só planeta, especialmente porque os efeitos de marés do campo gravitacional de Júpiter pressionavam em sentido contrário. Em vez disso, pois, vários asteróides de tamanho moderado podem ter-se formado e colisões entre eles podem ter resultado numa enorme população de objetos menores.

O consenso atual diz que os asteróides não são o produto de planeta que explodiu, mas o material de planeta que jamais se formou.

À medida em que não existiu um planeta explodido no espaço entre Marte e Júpiter, temos menos motivos para crer que qualquer outro planeta explodirá. Antes de mais nada, não

devemos subestimar o poder da gravidade. Num objeto do tamanho da Terra, o campo gravitacional predomina. A influência expansiva do calor interno está muito aquém do que se requer para que a força gravitacional seja sobrepujada.

Poderíamos especular se o rompimento radioativo de átomos no corpo terrestre não seria capaz de aumentar a temperatura até um ponto perigoso.

Em termos de explosões, tal medo não teria razão de ser. Se a temperatura fosse crescer a ponto de derreter toda a Terra, a atmosfera e os oceanos poderiam estar perdidos, mas o resto do planeta continuaria girando como uma imensa gota de líquido, que ainda permaneceria íntegra por causa de sua gravidade. (O planeta gigante, Júpiter, é atualmente tido como uma gota de líquido girando com temperaturas centrais de 54 000°C — e, todavia, com um campo gravitacional 318 vezes mais potente que o da Terra.) Naturalmente, se a Terra esquentasse a ponto de derreter o planeta inteiro, crosta e tudo, isso seria uma catástrofe do terceiro grau. Não mais precisaríamos postular uma explosão.

Mas isso também não deverá acontecer. A radioatividade natural da Terra está constantemente decrescendo. Ao todo, ela é, hoje, menos da metade do que era no início da história planetária. Se a Terra não derreteu em seus primeiros bilhões de anos de vida, não é agora que vai fazê-lo. E mesmo que a temperatura tenha crescido durante todo o tempo de vida do planeta a uma velocidade constantemente decrescente e ainda não conseguiu derreter a crosta, mas persiste na direção desse objetivo, a temperatura crescerá tão lentamente que favorecerá a humanidade com todo o tempo necessário para a fuga do planeta.

É mais provável que o calor interno da Terra esteja, no máximo, mantendo o mesmo nível, e à medida em que a radioatividade do planeta continua a cair, poder-se-á, na verdade, passar a testemunhar uma lentíssima perda de calor. Podemos até visualizar um futuro distante em que a Terra seja essencialmente fria — em todas as suas camadas, em todas as áreas de sua superfície.

Isso afetará a vida de modo a ser considerado uma catástrofe? No que diz respeito à temperatura da superfície terrestre, certamente não. Quase todo o calor de nossa superfície vem do Sol. Se o Sol parasse de brilhar, a temperatura da superfície cairia a níveis abaixo dos polares, e o calor interno do planeta desempenharia papel amenizador insignificante. Por outro lado, se o calor interno da Terra caísse para zero e o Sol continuasse a brilhar, nem perceberíamos a diferença — em relação à temperatura da superfície. No entanto, o calor interno aciona certos eventos com os quais estamos acostumados. A perda destes seria, de alguma maneira, catastrófica, ainda que o Sol continuasse a brilhar?

Não precisamos ocupar-nos com esta questão. Isso nunca acontecerá.

O declínio da radioatividade e a perda de calor devem prosseguir a passo tão lento que a Terra deverá, *com certeza,* ser um corpo internamente quente — como o *é* agora — até quando o Sol sair da seqüência principal.

CATASTROFISMO

Passemos para as catástrofes do terceiro grau que não comprometeriam a integridade da Terra como um todo, mas que, de qualquer forma, torná-la-iam inabitável.

Os mitos freqüentemente falam de cataclismos mundiais que puseram fim a toda ou quase toda a vida. Possivelmente, eles nasceram de desastres de menor monta, que são exagerados pela memória e ainda mais pela transmissão verbal.

Por exemplo, as civilizações primitivas surgiram em vales de rios, os quais, ocasionalmente, estão sujeitos a enchentes desastrosas. Se uma dessas, porventura, riscasse do mapa toda a área com que os habitantes estivessem familiarizados (e os povos das civilizações primevas tinham um vislumbre bem limitado da extensão da Terra), provavelmente ela representaria a destruição total, a seus olhos.

Os antigos sumerianos, que viviam no vale do Tigre-Eufrates — Iraque —, parecem ter presenciado uma enchente particularmente aterradora pelos idos de 2800 a.C. A impressão neles causada foi tal, pois que *abalara* sobremaneira seu mundo, que passaram a datar as coisas pelos critérios "antes do Dilúvio" e "depois do Dilúvio".

Surgiu, assim, uma lenda sumeriana do Dilúvio, lenda essa contida no primeiro romance épico conhecido, a lenda de Gilgamesh, rei da cidade sumeriana de Uruck. Em suas aventuras, ele encontra Ut-Napishtin, cuja família era a única sobrevivente do Dilúvio (tinham-se refugiado num grande barco por ele construído).

O épico se popularizou e se tornou conhecido bem além dos limites da cultura sumeriana e daquelas que a sucederam no vale do Tígre-Eufrates.

Chegou aos hebreus e, provavelmente, aos gregos, povos esses que incorporaram a história do Dilúvio a seus mitos da origem da Terra. A versão mais difundida entre nós, ocidentais, é, naturalmente, a história bíblica narrada nos capítulos 6 a 9 do Livro do Gênese. A história de Noé e da arca é conhecida demais para ser recontada aqui.

Por muitos séculos, os eventos bíblicos foram aceitos por quase todos os judeus e cristãos como a palavra inspirada por Deus e, portanto, a verdade literal. Era ponto pacífico que realmente houvera, no terceiro milênio a.C, uma enchente mundial que virtualmente destruíra toda a vida sobre a Terra.

Isso predispôs os cientistas a suporem que os vários sinais de modificações por eles descobertos na crosta terrestre eram o resultado da violenta calamidade do Dilúvio planetário. Quando se tornou claro que o Dilúvio não preenchia todos os requisitos para ser responsabilizado por todas as modificações, tornou-se tentador admitir que outras catástrofes tenham ocorrido a intervalos periódicos. Essa tendência foi denominada "catastrofismo".

A interpretação correta dos fósseis remanescentes de espécies extintas e a dedução do processo de evolução foram retardadas em razão da unilateralídade do catastrofismo. O naturalista suíço Charles Bonnet (1720-93), por exemplo, concordava em que os fósseis realmente eram remanescentes de espécies extintas, que tinham tido seu período de vida próprio, mas cria que elas haviam morrido em uma ou outra das catástrofes planetárias que haviam assolado o mundo em algumas ocasiões. Dessas catástrofes, o Dilúvio de Noé era o último representante. Após cada catástrofe, as sementes e outros remanescentes da vida pré-

histórica se desenvolviam em novas e mais avançadas formas. Como se a Terra fosse uma lousa e a vida fosse uma mensagem constantemente sendo apagada e reescrita.

Essa noção foi retomada pelo anatomista francês Barão Georges Cuvier (1769-1832), que concluiu que quatro catástrofes, sendo a última delas o Dilúvio, explicariam os fósseis. Contudo, quanto mais fósseis eram descobertos, tornava-se mais evidente que mais e mais catástrofes eram necessárias para limpar e abrir caminho para outras. Em 1849, um discípulo de Cuvier, Alcide d'Orbigny (1802-57), concluiu que não menos de 27 catástrofes eram requeridas.

D'Orbigny foi a última expressão do catastrofismo na comunidade científica. Na verdade, à medida em que mais fósseis eram descobertos e que a história da vida passada era elaborada mais detalhadamente, tornou-se claro que jamais houve catástrofes do tipo Bonnet-Cuvier.

Calamidades sempre existiram na história da Terra, e a vida sempre foi por elas afetada dramaticamente, como veremos; porém, nenhuma catástrofe ocorreu de modo a acabar com toda a vida e forçá-la a começar de novo. Podese traçar qualquer linha divisória e dizer: "Aqui houve uma catástrofe", mas sempre se encontrará grande número de espécies que sobreviveram a esse período sem se modificarem e sem serem afetadas de algum modo.

A vida é, sem sombra de dúvida, contínua, e jamais, desde que apareceu, há mais de 3 bilhões de anos, deu qualquer sinal de uma interrupção absoluta. A cada momento de todo esse tempo, a Terra parece ter sido ocupada por coisas vivas em rica profusão.

Em 1859, apenas dez anos depois da hipótese de D'Orbigny, o naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-82) publicou seu livro *Da origem das espécies pelo processo da seleção natural*. Ele deu um passo à frente no que geralmente chamamos de "teoria da evolução", que envolve a lenta modificação das espécies através das eras, sem catástrofes e regenerações. Essa teoria, de início, defrontou-se com grande oposição por parte daqueles que se escandalizavam com a forma pela qual as afirmações do Gênese eram contraditas, mas finalmente venceu-a.

Até hoje, grandes contingentes de pessoas, apegadas à interpretação literal da Bíblia e completamente desconhecedoras da evidência científica, permanecem hostis, por pura ignorância, ao conceito de evolução.

Entretanto, não restam dúvidas na comunidade científica de que a evolução é um fato, se bem que o espaço está aberto para disputas relativas aos mecanismos exatos pelos quais ela se deu{38}. Mesmo assim, a história do Dilúvio e a sede de muitas pessoas por lendas dramáticas mantêm a noção do catastrofismo viva, de uma forma ou outra, naturalmente fora das fronteiras da ciência. A contínua atração exercida pelas sugestões de Immanuel Velikovsky, por exemplo, se deve, pelo menos em parte, ao catastrofismo que ele prega. Há algo de dramático e excitante na visão de Vênus voando até nós e parando a rotação da Terra. O fato de que isso contraria todas as leis da mecânica celeste não incomoda o tipo de pessoa que se deixa levar por tais histórias.

Velikovsky desenvolveu suas idéias originalmente para explicar a lenda bíblica de Josué, que parou o Sol e a Lua. Velikovsky não pestaneja em admitir que a Terra gira; assim, sugere que a rotação se interrompa. Se a rotação cessasse de repente, como fica implícito na lenda

bíblica, tudo na Terra seria atirado longe.

Mesmo que a rotação parasse gradualmente, demorando um dia ou mais, como os apologistas de Velikovsky agora insistem — para explicar por que tudo permaneceu no lugar —, a energia rotacional ainda seria convertida em calor e os oceanos terrestres ferveriam. Se os oceanos terrestres tivessem fervido ao tempo do Êxodo, ficaria difícil explicar como a Terra é agora tão rica em vida marinha.

Ainda que ignoremos a fervura, qual a probabilidade de, após a rotação da Terra ter parado, Vênus afetar a Terra de modo a reiniciar a rotação na mesma direção e com o mesmo período — inclusive a nível de segundos — que antes existia?

Muitos astrônomos ficam absolutamente estonteados e frustrados pela influência que tais pontos de vista sem sentido exercem sobre tantas pessoas, mas eles subestimam o interesse do catastrofismo. Subestimam também a falta de informação da maioria dos indivíduos quanto a coisas científicas — especialmente entre aqueles que são cuidadosamente instruídos em assuntos não-científicos. De fato, os não-cientistas instruídos são os que mais facilmente adotam conceitos pseudocientíficos, porque o mero fato de terem conhecimento de digamos, literatura comparativa, pode fomentar a falsa crença no próprio poder de compreensão de assuntos de campos diversos.

Há outros exemplos de como o catastrofismo atrai os mal-informados em termos científicos. Um deles: qualquer asserção de que a Terra, de tanto em tanto tempo, dá uma guinada de 180 graus, de modo que o que antes era polar vira temperado ou tropical e vice-versa, sempre encontra ouvidos atentos. Dessa maneira, pode-se explicar por que alguns mamutes siberianos parecem ter congelado tão repentinamente. Mas supor que os mamutes fizeram algo tão simples como cair numa fenda de geleira ou num pântano congelado é insuficiente. Além do mais, mesmo que a Terra desse essa guinada, uma área tropical não congelaria instantaneamente. A perda de calor leva tempo. Se o aquecimento central de uma casa de repente pára de funcionar num dia frio, persiste um intervalo perceptível antes que a temperatura interna da casa caia para o enregelamento.

Além disso, é totalmente improvável que a Terra dê tal guinada.

Existe um bojo equatorial, resultado da rotação terrestre, que faz com que a Terra se comporte como um gigantesco giroscópio. As leis da mecânica que governam o movimento de um giroscópio estão perfeitamente compreendidas, e a quantidade de energia necessária para fazer a Terra dar uma guinada de 180 graus é enorme. Não existe fonte para tanta energia, com exceção da intrusão de algum objeto planetário vindo de fora e, disso, a despeito de Velikovsky, nunca houve nenhum sinal nos últimos 4 bilhões de anos, nem qualquer possibilidade de ocorrência num futuro próximo.

Uma sugestão mediadora é que não é a Terra como um todo que dá a guinada, somente sua crosta fina. A crosta, cuja espessura é de apenas dezenas de quilômetros e com somente 0,3 por cento da massa da Terra, repousa sobre o manto terrestre, uma espessa camada de rochas que, se não é muito quente para ser derretida, ainda é bem quente e pode, portanto, ser imaginada como sendo macia. Talvez, de vez em quando, a crosta escorregue pela superfície mais alta do manto, produzindo todos os efeitos no que se refere à vida na superfície, de uma guinada completa, às custas de bem menos energia. (O primeiro a sugerir isso foi o escritor

alemão Carl Lõffelholz von Colberg, em 1886.)

O que causaria tal deslizamento da crosta? Sugere-se que a vasta calota polar sobre a Antártida não está perfeitamente centrada no pólo sul.

Resultaria que a rotação terrestre causaria uma vibração descentralizada que desprenderia a crosta e fá-la-ia deslizar.

Isso é muito improvável. O manto não é de forma alguma suficientemente macio para que a crosta deslize sobre ele. Se o fosse, o bojo equatorial ainda assim mantê-la-ia no lugar. E, de qualquer modo, a posição descentralizada da calota polar da Antártida não basta para produzir aquele efeito.

Além do mais, isso nunca aconteceu. A crosta escorregadia teria que se romper à medida em que ela passasse das regiões polares para as equatoriais e aglutínar-se, quando passasse das equatoriais para as polares. A rachadura e aglutinação da crosta, no caso de tal deslizamento, certamente deixaria muitos sinais — só que provavelmente destruiria a vida e nada deixaria para que esses sinais fossem observados.

De fato, podemos generalizar. Jamais houve uma catástrofe envolvendo nosso planeta nos últimos 4 bilhões de anos que fosse suficientemente drástica para impedir o desenvolvimento da vida, e as possibilidades de haver uma no futuro, que surja unicamente a partir das mecânicas do planeta, são do mais alto grau de improbabilidade.

OS CONTINENTES EM MOVIMENTO

Tendo chegado à conclusão de que "não há catástrofes", podemos então afirmar que a Terra é perfeitamente estável e imutável? Não, é óbvio que não. Existem mudanças, algumas delas do tipo que já descartei. Como é possível?

Consideremos a natureza da catástrofe. Algo que seja catastrófico, se acontecer rapidamente, pode não ser catastrófico se acontecer devagar. Se você fosse descer do alto de um arranha-céu muito rapidamente (pulando do telhado), teria configurada para si próprio uma catástrofe pessoal. Se, por outro lado, você descesse bem devagar (de elevador), não haveria nenhum problema. A mesma coisa teria acontecido em ambos os casos: uma mudança de posição do alto para o chão. Que essa mudança de posição se constituísse numa catástrofe ou não, dependeria inteiramente do ritmo da mudança.

De modo similar, a bala que emerge velozmente da boca de um revólver e o atinge na cabeça certamente o matará; a mesma bala atirada manualmente apenas lhe provocará uma dor de cabeça.

O que descartei como catástrofes inadmissíveis são, portanto, as mudanças que ocorrem *rapidamente.* As mesmas mudanças, acontecendo *bem devagar,* são outro assunto. Mudanças muito lentas podem e realmente acontecem e não precisam ser e, de fato, não são catastróficas.

Por exemplo, tendo eliminado a possibilidade de um deslizamento catastrófico da crosta,

devemos admitir que o deslizamento da crosta bem lento é uma possibilidade. Consideremos que há uns 600 milhões de anos houve, parece, um período de glaciação (a julgar por arranhões em rochas de idade conhecida) que ocorreu simultaneamente no Brasil equatorial, na África do Sul, na índia e nas regiões oeste e sudeste da Austrália. Essas áreas devem ter sido cobertas por calotas polares como a Antártida e a Groenlândia.

Mas como pode isso ter acontecido? Se a distribuição de terra e água na Terra fosse, na época, exatamente a mesma que agora e se os pólos se localizassem exatamente no mesmo lugar, então a existência de áreas tropicais sob uma calota de gelo significaria que a Terra inteira precisaria ter congelado — o que é bastante improvável. Afinal de contas, não existem sinais de glaciação em outras áreas continentais naquele tempo.

Se supusermos que os pólos trocaram de posição, de forma que o que hoje é tropical era antes polar e vice-versa, então é impossível achar uma posição para os pólos que explique todas aquelas calotas de gelo primordiais simultâneas. Se os pólos permaneceram no mesmo lugar e a crosta da Terra deslizou como um todo, o problema é o mesmo. Não há posição na qual todas as calotas polares se encaixem.

A única coisa que pode ter acontecido e que poderia explicar essa glaciação é que as próprias massas de terra mudaram de posição umas em relação às outras e que aqueles vários lugares glaciados já foram, um dia, vizinhos e estavam todos num pólo ou no outro (ou algumas partes estavam num pólo e o resto no outro). Será possível?

Se analisarmos o mapa-múndi, não é difícil ver que a costa leste da América do Sul e a costa oeste da África são surpreendentemente parecidas.

Se você recortasse ambos os continentes (admitindo que o formato não esteja muito distorcido por ter sido esboçado sobre uma superfície plana), poderia encaixá-los espantosamente bem. Isso foi notado logo que o formato dessas costas se tornou detalhadamente conhecido. O estudioso inglês Francis Bacon (1561-1626) apontou isso já nos idos de 1620. Será que a África e a América do Sul estiveram um dia unidas, dividiram-se na linha litorânea e então se separaram?

A primeira pessoa a se devotar inteiramente a essa noção de “deriva continental” foi um geólogo alemão, Alfred Lothar Wegener (1880-1930), que publicou um livro sobre esse assunto, *The origin of continents and oceans* (“A origem dos continentes e dos oceanos”), em 1912.

Os continentes são compostos por rochas menos densas que o fundo do mar, basicamente constituídas de granito; o fundo do mar é essencialmente de basalto. Esses blocos continentais de granito não poderiam muito lentamente desprender-se e flutuar sobre o basalto? Era alguma coisa como a noção do deslizamento da crosta, mas, em vez de toda a crosta, apenas os blocos continentais fá-lo-iam — e bem devagar.

Se os blocos continentais se movessem independentemente, não haveria nenhum problema sério com o bojo equatorial, e caso se movessem bem devagar, não se requereria muita energia e não resultaria nenhuma catástrofe. Além disso, se os blocos continentais se movessem independentemente, explicar-se-ia uma glaciação muito antiga em regiões vastamente espaçadas do mundo, algumas perto do equador. Todas essas regiões teriam estado juntas um dia — e nos pólos.

Essa deriva continental poderia também ser a resposta para um enigma biológico. Espécies similares de plantas e animais existem nas mais diversas porções do mundo, porções separadas por oceanos que, obviamente, não poderiam ter sido cruzados por esses animais e plantas. Em 1880, o geólogo austríaco Edward Seuss explicou isso pressupondo já ter havido pontes de terra ligando os continentes. Por exemplo, ele imaginou um enorme supercontinente que se estendia por todo o hemisfério sul para explicar como essas espécies alcançaram diferentes massas de terra agora amplamente afastadas. Em outras palavras, era necessário imaginar a terra se elevando e decaindo no curso da história da Terra, a mesma área sendo, numa época, um continente alto e, em outra, um profundo fundo de mar.

Essa idéia se popularizou, mas quanto mais os geólogos aprendiam a respeito do fundo do mar, menos se lhes parecia possível que os fundos de mar pudessem um dia ter sido partes de continentes. Teria mais sentido supor o movimento lateral, com um único continente se fragmentando. Cada um dos fragmentos conteria grupos específicos de espécies e, no final, espécies similares estariam separadas por imensos oceanos.

Wegener sugeriu que, em dada época, todos os continentes existiram como um só enorme bloco de terra em meio a um vasto oceano. A esse supercontinente ele deu o nome de "Pangéia" (do grego "toda a Terra"). Por alguma razão, Pangéia se quebrara em diversos fragmentos que se foram separando até, finalmente, o arranjo continental de hoje se estabelecer.

O livro de Wegener despertou bastante interesse, mas era difícil para os geólogos levá-lo a sério. As camadas mais profundas dos continentes terrestres simplesmente eram rijas demais para permitir que eles deslizassem.

A América do Sul e a África estavam tão firmemente fixadas em seus respectivos lugares que seria impossível que uma ou outra deslizasse através do basalto. Durante quarenta anos, portanto, as teorias de Wegener foram desconsideradas.

Entretanto, quanto mais se estudavam os continentes, mais se tinha a impressão de que eles teriam estado unidos um dia, todos eles, especialmente se se considerasse a extremidade das projeções continentais como sendo suas verdadeiras fronteiras. Coincidência demais para ser descartada.

Suponhamos, pois, que Pangéia realmente existiu, fragmentou-se e seus pedaços se afastaram uns dos outros. Nesse caso, o fundo dos oceanos que se formaram entre os fragmentos teria que ser relativamente novo. Os fósseis de algumas rochas continentais chegavam a ter 600 milhões de anos de idade, porém, os do fundo do Atlântico, que teria se formado somente após a fragmentação de Pangéia, não poderiam ser tão velhos. E, com efeito, nenhum fóssil com mais de 135 milhões de anos jamais foi localizado nas rochas do fundo do oceano Atlântico.

Crescente evidência se acumulava a favor do deslizamento continental. Necessitava-se, contudo, de uma hipótese explicativa do mecanismo que pusera isso em ação. Tinha que ser algo diverso da teoria de Wegener (o granito fendendo o basalto); *essa* certamente *não* era possível.

A chave do problema veio com a análise do fundo do Atlântico, que está, naturalmente, oculto por um opaco lençol de água de quilômetros de profundidade. A primeira sugestão de

que poderia haver algo interessante lá embaixo data de 1853, quando foi necessário fazer sondagens a fim de se poder instalar um cabo telegráfico no Atlântico de modo que a Europa e a América pudessem comunicar-se por sinais elétricos. Na época, descobriu-se que, aparentemente, havia indícios de um platô submarino no meio do oceano. O Atlântico parecia muito mais raso no meio que nos lados, e o centro raso foi denominado "planalto do telégrafo", em homenagem a esse cabo.

Naquele tempo, a sondagem era executada fazendo descer ao mar um longo e pesado cabo. Isso era entediante, difícil e incerto, e poucas sondagens podiam ser feitas, de maneira que somente os detalhes mais evidentes da configuração do fundo do mar podiam ser apreendidos

Durante a Primeira Guerra Mundial, contudo, o físico francês Paul Langevin (1872-1946) desenvolveu métodos de avaliação de distâncias de objetos submersos por meio de ecos ultra-sônicos (agora chamados "sonar").

Na década de 20, um navio oceanográfico alemão começou a fazer sondagens no oceano Atlântico por meio do sonar e por volta de 1925 demonstrou-se que uma imensa cordilheira submarina recortava o centro do oceano Atlântico em toda a sua extensão. Mais tarde, descobriu-se que o mesmo ocorria em outros oceanos e, aliás, o globo era circundado por uma longa e sinuosa "cordilheira centro-oceânica".

Depois da Segunda Guerra Mundial, os geólogos americanos William Maurice Ewing (1906-74) e Bruce Charles Heezen (1924-77) atacaram o problema e em 1953 conseguiram demonstrar que, ao longo de toda a extensão da cordilheira, descendo até sua base, corria uma profunda garganta. Mais tarde, descobriu-se que ela existia em todas as porções da cordilheira centro-oceânica e, por isso, é às vezes chamada de "grande fissura global".

A grande fissura global parece dividir a crosta terrestre em grandes placas que, em alguns casos, têm milhares de quilômetros de lado a lado, e parecem ter de 70 a 150 quilômetros de profundidade. São chamadas de "placas tectônicas", da palavra grega *"tekton"* ("carpinteiro"), porque as diversas placas parecem estar cuidadosamente encaixadas. O estudo da evolução da crosta terrestre em termos dessas placas é chamado de "tectônica".

A descoberta das placas tectônicas confirmou definitivamente a noção do deslizamento continental, mas não da forma que Wegener advogava. Os continentes não flutuavam e derivavam pelo basalto. Um continente específico, unido a porções do fundo do mar adjacente, era parte integrante de uma placa específica. Os continentes só se podiam mover se as placas se movessem, e era evidente que estas se moviam. Mas como elas podiam se mover se estavam firmemente unidas?

Podiam se empurradas. Em 1960, o geólogo americano Harry Hammond Hess (1906-69) apresentou provas a favor da "expansão do fundo do mar". Rochas quentes derretidas lentamente verteram desde as grandes profundezas até a grande fissura global no centro do Atlântico, por exemplo, e se solidificaram na superfície ou perto dela. Isso forçou as duas placas a se separarem, em alguns lugares à razão de 2 a 18 centímetros por ano. Com sua separação, a América do Sul e África, por exemplo, foram forçadas a se separar. Em outras palavras, os continentes não se desgarraram; foram empurrados.

O que produziu a energia responsável por esse evento? Não se tem bem certeza, porém uma explicação razoável é que há lentíssimos redemoinhos no manto que jaz sob a crosta, que é

bastante quente para se amoldar sob as grandes pressões. Se um redemoinho se move para cima, para o oeste e para baixo, e um redemoinho vizinho se move para cima, para o leste e para baixo, as movimentações opostas sob a crosta tendem a separar duas placas vizinhas, com material quente jorrando entre elas.

É lógico que, se duas placas são separadas à força, as outras extremidades delas devem ser empurradas sobre as placas vizinhas. Quando duas placas são pressionadas uma contra a outra vagarosamente, surge um enrugamento e formam-se cadeias montanhosas. Se são pressionadas mais rapidamente, uma escorrega por baixo da outra, atinge regiões quentes e derrete. O fundo do mar é pressionado para baixo para formar "fossas".

Toda a história da Terra pode ser verificada pela tectônica, estudo que, subitamente, se tornou o dogma central da geologia, assim como a evolução é o dogma central da biologia e o atomismo é o da química. Com as placas tectônicas separando-se aqui e unindo-se ali, montanhas se erguem, fossas se aprofundam, oceanos se ampliam, continentes se distanciam e se reúnem.

Ocasionalmente os continentes se agrupam numa única e gigantesca massa de terra e então se dividem novamente, repetidas vezes. A última vez em que, parece, Pangéia se formou foi há 225 milhões de anos, quando os dinossauros apenas começavam a evoluir, e principiou a se romper há cerca de 180 milhões de anos.

VULCÕES

Pensar-se-ia, assim, que o movimento das placas tectônicas não é capaz de constituir um fenômeno catastrófico, já que é tão vagaroso. Através da história, o desvio dos continentes jamais teria sido percebido se não fosse pelas mensurações científicas meticulosíssimas que foram realizadas.

Entretanto, a movimentação das placas produz efeitos ocasionais que não as modificações nos mapas, efeitos esses súbitos e localmente calamitosos.

As linhas ao longo das quais as placas se encontram representam o equivalente de rachaduras na crosta terrestre e são chamadas de "falhas".

Essas falhas não são linhas simples; elas apresentam todos os tipos de ramificações. As falhas são pontos fracos através dos quais o calor e as rochas derretidas das camadas mais inferiores da crosta podem, em alguns lugares, abrir caminho para a emersão. O calor pode se fazer sentir um tanto benigno por aquecer as águas do solo e produzir ventos de vapor ou fontes de águas quentes. Às vezes a água é aquecida até a pressão atingir um ponto crítico que, ultrapassado, provoca a erupção abrupta de uma massa dela. Aí, volta a calmaria, enquanto o reservatório subterrâneo é realimentado e reaquecido para a próxima erupção. É o que se chama um gêiser[39].

Em algumas áreas, o efeito do calor é mais drástico. Rochas derretidas brotam e se

endurecem. Grandes porções de rochas derretidas jorram através do montículo de rocha solidificada, aumentando ainda mais a sua altura.

Finalmente, tem-se uma montanha, edificada com uma passagem central pela qual a rocha derretida, “lava”, sobe e se deposita, solidificando-se em períodos mais ou menos longos e, então, derretendo novamente.

É o “vulcão”, que pode ser ativo ou inativo. Às vezes, um vulcão específico é mais ou menos ativo por longos períodos, após o quê, como em qualquer doença crônica, deixa de ser muito perigoso. Ocasionalmente, quando, por alguma razão, eventos subterrâneos elevam o nível de atividade, a lava cresce e transborda. Aí, rios de lava vermelho-incandescente descem as encostas do vulcão e, às vezes, avançam até os locais povoados, que precisam, então, ser evacuados.

Muito mais perigosos são os vulcões que, por certos períodos, são inativos. A passagem central, pela qual a lava subia no passado, se solidifica por completo. Se lá não houvesse mais qualquer outra atividade, tudo estaria bem. Acontece, todavia, que, de vez em quando, as condições subterrâneas, após um longo lapso de tempo, começam a produzir um excesso de calor. A lava que se forma embaixo é então represada pela lava solidificada em cima.

A pressão cresce e, por fim, o topo do vulcão é rompido violentamente.

Segue-se um mais ou menos inesperado jorro de gás, vapor, rochas sólidas e lava incandescente. Aliás, se alguma água foi represada sob o vulcão e se ela se transformou em vapor devido à enorme pressão, o topo inteiro do vulcão pode estourar, produzindo uma explosão muitíssimo superior a qualquer outra com que os homens pudessem lidar, mesmo nestes dias de bombas nucleares.

Pior ainda, um vulcão inativo pode dar a impressão de ser totalmente inofensivo. Pode não ter deixado vestígios de atividade na memória dos seres humanos, e o solo, vindo das profundezas, é comparativamente jovem, e em geral muito fértil. A área, assim, atrai as povoações humanas, e quando a erupção vem (caso venha) os resultados podem ser fatais.

Há, no mundo, 455 vulcões ativos conhecidos por suas erupções na atmosfera. Talvez outros oitenta sejam submarinos. Cerca de 62 por cento dos vulcões ativos se acham à margem do oceano Pacífico, e três quartos deles nas costas oeste das cadeias de ilhas que beiram a costa pacífica asiática.

Isto é, às vezes, chamado de “círculo de fogo”, que diziam ser a marca não cicatrizada da porção terrestre que, em tempos imemoriais, se dissolveu para formar a Lua. Não mais se aceita isso como possibilidade; segundo os cientistas, o círculo de fogo meramente assinala a fronteira entre a placa pacífica e as outras placas (a leste e a oeste). Outros 17 por cento dos vulcões aparecem ao longo do braço insular da Indonésia, que marca o limite entre as placas eurasiana e australiana. Outros 7 por cento se situam ao longo de uma linha mediterrânea leste—oeste, que traça a demarcação entre as placas eurasiana e africana.

A erupção vulcânica mais conhecida na história ocidental é a do Vesúvio, no ano 79 d.C. O Vesúvio é um vulcão de aproximadamente 1,28 quilômetro de altura, que se situa a cerca de 15 quilômetros a leste de Nápoles. Desconhecia-se, na Antigüidade, o fato de ser ele um vulcão, pois, na memória humana, fora sempre inativo.

Então, em 24 de agosto de 79, ele entrou em atividade. O fluxo de lava e as nuvens de fumaça, gases e vapores nocivos destruíram completamente as cidades de Pompéia e Herculano, na encosta sudeste do Vesúvio.. Porque isso aconteceu no apogeu do Império Romano, porque foi descrito dramaticamente por Plínio, o Jovem (cujo tio, Plínio, o Velho, faleceu na erupção enquanto tentava assistir ao cataclismo de perto), e porque as escavações das cidades soterradas, iniciadas em 1709, revelaram uma comunidade suburbana romana, que, metaforicamente falando, tinha ficado em suspensão, este incidente é *a* sinopse das erupções vulcânicas. Ele, porém, nada representa no que se refere a destruições.

A ilha da Islândia, por exemplo, é particularmente vulcânica, já que repousa sobre a cordilheira centro-oceânica, nos limites entre as placas norte-americana e eurasiana. Essa ilha está realmente sendo rompida, à medida em que o fundo do mar do Atlântico continua a se espalhar[{40}].

Em 1783, o vulcão Laki, no centro-sul da Islândia, 190 quilômetros a leste de Reykjavik, a capital islandesa, começou a entrar em ação. Durante o espaço de dois anos, a lava cobriu uma área de 580 quilômetros quadrados. O dano direto foi pequeno, mas as cinzas vulcânicas se espalharam tanto que chegaram a atingir a Escócia, 800 quilômetros a sudeste, com tal concentração que as safras daquele ano foram arruinadas.

Na própria Islândia, a fumaça e as emanações dizimaram três quartos de todos os animais domésticos e inutilizaram, pelo menos temporariamente, as poucas terras agrícolas existentes na ilha. Resultado: 10 000 pessoas, um quinto da população da ilha, morreram de fome ou doenças.

Danos maiores podem acontecer em centros de maior concentração populacional. Consideremos o vulcão Tambora, na ilha indonésia de Sumbawa, a leste de Java. Em 1815, Tambora tinha 4 quilômetros de altura.

Em 7 de abril do mesmo ano, contudo, a lava contida rompeu e arrasou o quilômetro superior do vulcão. Talvez uns 150 quilômetros cúbicos de matéria foram liberados naquela erupção — a maior massa de matéria atirada à atmosfera nos tempos modernos[{41}]. A chuva direta de rochas e fumaça matou 12 000 pessoas, e a destruição de terras agrícolas e animais domésticos levou à morte, por inanição, outras 80 000 pessoas em Sumbawa e na ilha vizinha de Lombok.

No hemisfério ocidental, a erupção mais terrível dos tempos registrados pela história deu-se em 8 de maio de 1902. O monte Pelée, na extremidade noroeste da ilha de Martinica, era conhecido como um vulcão que só dava pequenos soluços de tempos em tempos; nesse dia, porém, produziu-se uma gigantesca explosão. Um rio de lava e uma nuvem de gases quentes derramaram-se a grande velocidade pelas encostas do vulcão, assolando a cidade de Saint Pierre e dizimando sua população. Ao todo, cerca de 38 000 pessoas foram vitimadas. Um homem, preso num cárcere subterrâneo da cidade, mal e mal sobreviveu.

Entretanto, a maior explosão dos tempos modernos ocorreu na ilha de Krakatoa. Não muito grande, essa ilha tinha uma área de 45 quilômetros quadrados, um pouco menor que Manhattan. Situa-se no estreito de Sunda, entre Sumatra e Java, 840 quilômetros a oeste do Tambora.

O Krakatoa não parecia particularmente perigoso. Houvera uma erupção em 1680, mas de pequenas proporções. Em 20 de maio de 1883, notou-se considerável atividade, que se enfraqueceu sem causar muitos estragos, e daí em diante continuou num tipo de ribombo surdo. Então, às dez horas da manhã de 27 de agosto, uma tremenda explosão virtualmente arrasou a ilha. Apenas 21 quilômetros cúbicos de matéria foram atirados ao ar — bem menos que a exagerada cifra atribuída à erupção do Tambora, 68 anos antes, mas o que foi atirado recebeu um impulso muitíssimo mais potente.

Uma área de 800 000 quilômetros quadrados foi coberta por cinzas e viveu a escuridão por dois dias e meio. A poeira atingiu a estratosfera e se espalhou por toda a Terra, propiciando poentes espetaculares durante dois anos. O ruído da explosão foi ouvido à distância de milhares de quilômetros, algo como um terço do globo, e a sua força correspondeu a 26 vezes a da maior bomba H já detonada.

A explosão provocou um *tsunami* ("macaréu"), que cobriu as ilhas vizinhas e se fez sentir menos catastroficamente por todo o oceano. Toda a vida de todas as espécies em Krakatoa foi dizimada e o *tsunami,* à medida em que convergia para baías onde alcançava altitudes de até 36 metros, acabou com 163 povoações e matou quase 40 000 pessoas.

Do Krakatoa foi dito ter ele sido o mais alto estrondo ouvido na face da Terra em tempos históricos. Errado. Houve um ainda mais alto.

No mar Egeu há uma ilha, Thira, cerca de 230 quilômetros a sudeste de Atenas. Tem o formato de lua crescente, com o lado aberto para oeste.

Entre as duas pontas localizam-se duas ilhotas. O todo parece ser, e é, o círculo de uma larga cratera vulcânica. A ilha de Thira é vulcânica e sofre constantes erupções; recentes escavações, porém, demonstram que, por volta de 1470 a.C, a ilha era consideravelmente maior que hoje e nela se localizava um ramo próspero da civilização minóica, cujo centro estava na ilha de Creta, 105 quilômetros ao sul de Thira.

Naquele ano, porém, Thira explodiu como aconteceria com o Krakatoa 33 séculos mais tarde, só que com intensidade cinco vezes maior.

Como em Krakatoa, tudo em Thira foi destruído, mas o *tsunami* formado (com alturas de até 50 metros, em algumas baías) arremessou-se contra Creta, dando cabo de toda a civilização minóica[42].

Levou quase mil anos para a civilização grega que se desenvolvia equiparar o nível de sua cultura ao alcançado antes da explosão.

Sem dúvida, a explosão de Thira não matou tantas pessoas quanto a do Krakatoa ou a do Tambora, porque, naqueles dias, a Terra era bem menos densamente povoada. Entretanto, a explosão de Thira tem o triste marco distintivo de ter destruído não uma cidade ou um agrupamento delas, mas toda uma civilização.

Ela se distingue, também, por um aspecto um tanto romântico. Os egípcios fizeram relatos dessa explosão, possivelmente de forma confusa, os quais, mil anos depois, retomados pelos gregos, provavelmente sofreram maiores distorções. Essas, transformadas em lendas, aparecem em dois dos diálogos de Platão.

Platão (427-347 a.C.) não tentou ser muito historiógrafo nesse sentido, pois usava a lenda com o fim de moralizar. Aparentemente, ele não acreditava que a grande cidade descrita pelos egípcios realmente existira no mar Egeu, onde, em sua época, havia apenas ilhotas de pequena monta.

Localizou-a, pois, no oeste distante, no oceano Atlântico, e chamou a cidade destruída de Atlântida. O resultado foi que, desde então, formou-se uma crença generalizada de que o oceano Atlântico abrigava o continente afogado. O descobrimento do planalto do telégrafo pareceu vir a confirmar isso, mas é claro que tudo caiu por terra com o descobrimento da cordilheira centro-oceânica.

Entrementes, a hipótese de Seuss das pontes de terra oceânicas e da elevação e depressão de vastas áreas de terra estimulou ainda mais os devotos do "continente perdido". Não só a Atlântida tinha existido, imaginava-se, como também Lemúria e Mu, continentes similarmente submersos nos oceanos Pacífico e Indico. É óbvio que Seuss estava errado; de qualquer modo, ele falava de eventos de centenas de milhões de anos atrás, ao passo que os entusiastas acreditavam que o fundo do mar balançava há dezenas de milhares de anos.

A tectônica pôs fim a tudo isso. Não há continentes afogados em nenhum oceano — mas podemos ter certeza de que os devotos do continente perdido continuarão a acreditar nessa bobagem, de qualquer maneira.

Até bem recentemente, cientistas (inclusive eu) suspeitavam ser possível que o relato de Platão fosse inteiramente imaginário, criado somente com o intuito de fazer moralizações. Estávamos errados. Algumas das descrições platônicas da Atlântida foram confirmadas pelas escavações de Thira, de modo que a lenda deve ter-se baseado na legítima destruição de uma cidade por uma catástrofe súbita — mas só uma cidade numa pequena ilha, não um continente.

Contudo, por piores que sejam os vulcões, há outro efeito das placas tectônicas que pode ser ainda mais desastroso.

TERREMOTOS

Quando as placas tectônicas se separam ou se unem, não o fazem necessariamente de modo suave. Na verdade, há uma tendência a uma certa resistência em função do atrito.

Imaginemos que duas placas são mantidas firmemente juntas por enormes pressões. A linha de união é irregular, com quilômetros de profundidade, e as orlas das placas se compõem de rochas espessas. O movimento das placas tende a pressionar uma para o norte, digamos assim, enquanto a outra é estacionaria ou empurrada para o sul. Uma das placas pode deslizar enquanto a outra permanece estacionaria ou afunda.

O tremendo atrito das margens das placas impede que elas se movam, pelo menos temporariamente; a força que tende a movê-las, porém, aumenta com a lenta circulação no manto, o que faz com que se separem em alguns pontos. O jorro de rocha derretida e a expansão do fundo do mar exercem constante empuxo de uma placa de encontro a outra em

diferentes lugares.

Pode levar anos, porém mais cedo ou mais tarde o atrito é superado e as placas movem-se opressivamente umas sobre as outras, às vezes apenas alguns centímetros, outras por vários metros. A pressão é então aliviada e as placas se acomodam durante outro período incerto de tempo, até o próximo movimento digno de nota.

Quando realmente ocorre uma movimentação das placas, a Terra vibra e temos um “terremoto”. No curso de um século, duas placas se movem uma contra a outra diversas vezes, um pouquinho por vez, e os tremores não são muito fortes. Ou as placas podem estar tão firmemente unidas que durante um século nada acontece; de repente, elas cedem e se movem o equivalente a todo um século, provocando um tremor gigantesco. Como sempre, a extensão dos danos depende do grau de mudança em relação ao tempo que levou para ocorrer. A mesma liberação de energia efetuada ao longo de um século pode não provocar qualquer problema, enquanto, se efetuada em curto intervalo de tempo, pode ser cataclísmica.

Dado que os terremotos, como os vulcões, se dão ao longo de falhas — o ponto de junção de duas placas —, as mesmas regiões onde freqüentemente se localizam os vulcões são igualmente passíveis de experimentar terremotos. Dentre ambos os fenômenos, todavia, os mais letais são os últimos. Erupções de lavas ocorrem em lugares bem definidos — nos imensos e facilmente reconhecíveis vulcões. Geralmente o desastre se confina numa pequena área, e só raramente os *tsunamis* e as espessas camadas de cinzas estão presentes. Os terremotos, por outro lado, podem centrar-se em qualquer ponto ao longo da linha de uma falha, que pode ter centenas de quilômetros de extensão.

Os vulcões, em geral, avisam quando vão começar a agir. Mesmo quando um vulcão explode seu topo de súbito, houve estrondos preliminares ou emissões de fumaça e cinzas. No caso do Krakatoa, por exemplo, apareceram sinais de atividade três meses antes da repentina explosão. Por sua vez, os terremotos geralmente ocorrem apenas com sutilíssimos avisos.

Enquanto as erupções vulcânicas são quase sempre localizadas e quase sempre se espalham em tempo suficiente para que se possa escapar, um terremoto em geral dura cinco minutos, e nesses cinco minutos pode afetar uma área extensíssima. Os tremores de terra em si não são perigosos (embora possam ser terrivelmente assustadores), mas tendem a derrubar casas, de modo que as pessoas morrem entre as ruínas. Nos tempos modernos, eles podem romper represas e causar inundações, provocar curtos-circuitos e, com eles, incêndios; em suma, arrasar propriedades.

O mais famoso terremoto da história ocidental moderna ocorreu a 1° de novembro de 1755. Seu centro: a pouca distância da costa de Portugal.

Esse foi, com certeza, um dos três ou quatro tremores mais portentosos já presenciados. Lisboa, a capital portuguesa, foi atingida pelo ímpeto total do tremor; todas as casas da parte baixa da cidade ruíram. Aí um *tsunami* originado na porção submarina do tremor tomou conta da baía, completando a destruição. Sessenta mil pessoas morreram e a cidade foi achatada como se atingida por uma bomba de hidrogênio.

O choque se fez sentir sobre uma área de 3,5 milhões de quilômetros quadrados, causando sensíveis danos no Marrocos, bem como em Portugal.

Como era dia de Todos os Santos, as, igrejas estavam cheias e, em toda a Europa meridional, quem estava nas catedrais viu os lustres dançarem e balançarem.

O terremoto mais famoso da história americana aconteceu em San Francisco. Esta cidade se situa na linha divisória das placas pacífica e norte-americana. Essa linha percorre todo o oeste da Califórnia e é chamada de "falha de Santo André". Em toda a extensão da falha e de suas ramificações freqüentemente sentem-se tremores, geralmente fracos, mas às vezes áreas da falha prendem-se no lugar e, quando forçadas a soltar-se após várias décadas, os resultados são devastadores.

Às cinco horas e treze minutos da manhã de 18 de abril de 1906, a falha cedeu em San Francisco e todos os edifícios ruíram. Iniciou-se um incêndio que durou três dias, até que um aguaceiro o apagou. Quase 2 quilômetros quadrados do centro da cidade foram por terra. Cerca de setecentas pessoas morreram e 250 000 ficaram desabrigadas. Estima-se que os prejuízos materiais somaram meio bilhão de dólares.

Como conseqüência do estudo desse terremoto feito pelo geólogo americano Harry Fielding Reid (1859-1944), descobriu-se ter havido um deslizamento na falha. O solo se movera cerca de 6 metros entre as duas extremidades da falha de Santo André. Isso favoreceu a moderna compreensão dos terremotos, embora só meio século mais tarde, com o desenvolvimento da tectônica, tenha sido desvendada a força propulsora de tal fenômeno.

A fama do terremoto de San Francisco não deve obscurecer o fato de que, na época, a cidade era pequena e as mortes, relativamente poucas. Já houve terremotos muito mais fortes em termos de número de vítimas no hemisfério ocidental.

Em 1970, na reserva de Yungay, no Peru, 320 quilômetros ao norte da capital, Lima, um terremoto soltou a água que se vinha acumulando por trás de um barranco. Resultou numa inundação que dizimou 70 000 vidas.

Maiores danos são causados do outro lado do Pacífico, no Extremo Oriente, onde a população é tão densa e as habitações tendem a ser tão frágeis que desabam ao menor sinal de um tremor de terra. Em 1° de setembro de 1923, um terremoto de enormes proporções se centrou a sudoeste da região metropolitana de Tóquio e Yokohama, no Japão. E, em 1923, Tóquio era bem maior que San Francisco em 1906; aproximadamente 2 milhões de pessoas viviam na área entre Tóquio e Yokohama.

O terremoto ocorreu pouco antes do meio-dia; 575 000 edifícios caíram por terra de imediato. O número de vítimas entre o terremoto e o incêndio que o precedeu pode ter atingido a marca de 140 000, os prejuízos materiais podem ter chegado a quase 3 bilhões de dólares (valor da época).

Este, provavelmente, foi o terremoto que causou os mais caros danos já registrados.

E, mesmo assim, esse não foí o pior dos terremotos em termos de número de vítimas. Em 23 de janeiro de 1556, na província de Chan-si, na região central da China, registrou-se um tremor que matou 830 000 pessoas.

É claro que não podemos confiar de todo num registro tão antigo, mas, em 28 de julho de 1976, um terremoto igualmente devastador ocorreu no sul de Pequim, na China. As cidades de Tien-tsin e Tang-chan foram arrasadas; não se obtiveram dados oficiais do sinistro, mas dados

oficiosos apontam 655.000 mortos e 779 000 feridos.

O que, pois, se pode afirmar sobre os terremotos e vulcões em geral?

Certamente, eles são infortúnios, mas de caráter puramente local. Nos bilhões de anos desde que surgiu a vida, vulcões e terremotos nunca chegaram perto de constituir destruidores definitivos da vida. Eles não podem sequer ser vistos como destruidores da civilização. Que a explosão de Thira foi um poderoso agente da queda da civilização minóica é incontestável, mas as civilizações, naquela época, eram pequenas. A civilização minóica estava confinada na ilha de Creta e em outras ilhas egéias, e exercia alguma influência sobre partes da Grécia continental.

Podemos nos assegurar de que tudo continuará a ser como é? De que os distúrbios tectônicos não se tornarão catastróficos no futuro, mesmo não o tendo sido no passado? Em 1976, por exemplo, houve cerca de cinqüenta terremotos fatais; desses, alguns, como os da Guatemala e da China, foram verdadeiramente monstruosos. A Terra agora estará desmoronando por alguma razão?

De forma alguma! As coisas apenas *parecem* más; de fato, o ano de 1906 (ano do terremoto de San Francisco) viu tremores mais desastrosos que os de 1976, porém em 1906 as pessoas não se preocupavam tanto com o assunto. Por que se preocupam agora?

Em primeiro lugar, as comunicações melhoraram muito de de a Segunda Guerra Mundial. Até há bem pouco tempo, vastas áreas da Ásia, da África, e mesmo da América do Sul, nos eram inacessíveis. Se ocorresse um terremoto numa região longínqua, somente notícias muito vagas chegariam aos ouvidos do público americano. Atualmente, cada terremoto é descrito de imediato e em detalhes nas primeiras páginas dos jornais. Os resultados da devastação podem ser vistos até na televisão.

Em segundo lugar, nosso próprio interesse aumentou. Não estamos isolados e autocentrados. Não faz muito que, mesmo ao ouvirmos os detalhes de terremotos de outros continentes, dávamos de ombros. O que acontecia em partes remotas do globo não nos dizia respeito. Agora acostumamo-nos a descobrir que incidentes em qualquer lugar do mundo exercem efeito sobre nós; por isso, tornamo-nos mais atentos e mais ansiosos.

Em terceiro lugar, a população mundial cresceu. Dobrou nos últimos cinqüenta anos, alcançando a marca (hoje) de 4 bilhões. Um terremoto que vitimou 140 000 pessoas em Tóquio em 1923, caso se repetisse, vitimaria hoje talvez 1 milhão. Note-se que a população de Los Angeles, em 1900, era de 100 000 e é, hoje, de 3 milhões. Um terremoto que afetasse Los Angeles agora possivelmente mataria trinta vezes o número de pessoas que teria matado em 1900. O que não significaria que o terremoto seria trinta vezes mais poderoso, apenas que o número de pessoas próximas terse-ia multiplicado por trinta.

Por exemplo, o terremoto mais poderoso já registrado na história dos Estados Unidos não aconteceu na Califórnia, mas, dentre todos os lugares possíveis, no Missouri. O centro do terremoto foi perto de Nova Madrid, no rio Mississípi, perto do canto sudeste do Estado, e o tremor foi tão forte que o curso do Mississípi foi alterado. Isso, contudo, foi a 15 de dezembro de 1811; nessa época, a área era muito pouco povoada. Não se registrou uma só perda humana. O mesmo tremor no mesmo lugar, hoje, sem dúvida teria dado cabo de centenas de vidas. Se acontecesse algumas centenas de quilômetros rio acima, dezenas de milhares

morreriam. Finalmente devemos nos lembrar de que o que de fato mata, no caso de terremotos, são as obras humanas. Edifícios ruindo soterram pessoas; represas rompidas afogamnas; incêndios iniciados por cabos rompidos queimam-nas. As produções humanas se multiplicaram com os anos, tornando-se também mais sofisticadas e caras. Isso não só aumenta o número de vítimas, como também aumenta enormemente os danos materiais.

O FUTURO TECTÔNICO

Poderíamos, pois, esperar, como fato consumado, que, a cada década, o total de mortes e destruições devido a terremotos e, em menor grau, a vulcões, piorará, muito embora as placas não façam mais que continuar a deslizar como vem acontecendo há alguns bilhões de anos. Poderíamos também esperar que as pessoas, notando a maior mortandade e destruição, e sujeitas à maior publicidade relativa a isso, terão certeza de que a situação está piorando e de que a Terra *está* desmoronando.

Errado! Mesmo que as coisas pareçam piorar, é a mudança provocada pelos homens n0 mundo, não a mudança tectônica, que é a responsável. É claro que sempre há indivíduos ansiosos, por algum motivo, para predizer o fim iminente do mundo. Antigamente, a predição em geral se inspirava nesta ou naquela passagem da Bíblia, e era freqüentemente vista como a conseqüência dos pecados dos homens. Hoje, aponta-se como causa algum aspecto material do universo.

Em 1974, por exemplo, foi publicado o livro *The Júpiter effect,* de John Gribbin e Stephen Plagemann — cujo prefácio foi escrito por mim por achá-lo interessante. Gribbin e Plagemann calcularam o efeito das marés produzido sobre o Sol por diversos planetas, especularam acerca da influência das marés sobre chamas solares e, portanto, sobre os ventos solares, e especularam sobre o efeito desses últimos sobre a Terra. Em especial, questionaram a existência de um efeito que comprometesse a tensão em várias falhas. Por exemplo, se a falha de Santo André estivesse prestes a deslizar e produzir um perigoso terremoto, o efeito do vento solar poderia ser a gota d'água que empurraria a falha sobre a borda.

Gribbin e Plagemann indicaram a possibilidade de, em 1982, a posição dos planetas propiciar o maior efeito das marés já verificado sobre o Sol. Nesse caso, *se* a falha de Santo André estivesse prestes a deslizar, 1982 seria o ano propício para isso.

O primeiro aspecto do livro a ser levado em conta é o fato de que ele é altamente teórico. Em segundo lugar, mesmo que a cadeia de eventos acontecesse — uma posição dos planetas que favorecesse o maior efeito das marés possível sobre o Sol, cujo número e intensidade de chamas então aumentaria, e que, por sua vez, viria a intensificar o vento solar que empurraria a falha de Santo André —, no máximo ocorreria um terremoto, o qual não tardaria mais que um ano, de qualquer forma, não fosse o empurrão.

Poderia ser um terremoto bastante poderoso, mas nada além do que seria sem a ação do vento solar. Poderia causar danos enormes, mas não devido a sua potência, e sim porque a

Califórnia foi entupida de gente e edificações desde o último grande terremoto de 1906.

Entretanto, o livro foi mal interpretado e, agora, parece haver um temor de que exista um "alinhamento planetário" em 1982, e que isso induzirá, mediante alguma influência astrológica, os mais sérios infortúnios no planeta, dos quais o menor será o deslizamento da Califórnia mar adentro.

Bobagem!

Por alguma razão, a idéia do deslizamento da Califórnia para o mar parece interessar aos irracionalistas. Em parte, isso deve ser porque sabem vagamente da existência de uma falha ao longo da costa ocidental da Califórnia (o que é verdade) e que pode haver movimento ao longo da falha (o que também é verdade). No entanto, o movimento seria de apenas alguns metros e as beiradas da falha não se desintegrariam. Depois da tragédia, a Califórnia ainda seria um só corpo.

É admissível que no futuro exista uma expansão ao longo da falha; o material irá jorrar e forçar os lábios da falha a se separarem, produzindo, talvez, uma depressão para dentro da qual o oceano Pacífico poderia verter.

A lasca ocidental da Califórnia se deslocaria do restante da América do Norte, produzindo uma península parecida com a Baixa Califórnia, ou mesmo uma ilha comprida. Levaria milhões de anos para isso acontecer, porém, e o processo seria acompanhado da ocorrência de terremotos e vulcões do tipo que hoje conhecemos.

No entanto, a teoria da Califórnia deslizando mar adentro ainda persiste. Por exemplo, há um asteróide, ícaro, descoberto em 1948 por Baade, que apresenta uma órbita das mais excêntricas. Em um extremo da órbita, ele atravessa a zona de asteróides. No outro extremo, ele se aproxima do Sol mais que o planeta Mercúrio. No meio, sua órbita quase esbarra na órbita terrestre; trata-se, pois, de um arranha-Terra.

Quando ícaro e a Terra se encontram nos pontos críticos de suas órbitas, eles ficam a 6,4 milhões de quilômetros de distância. Mesmo a essa distância, aproximadamente dezessete vezes maior que a da Lua, o efeito de ícaro sobre a Terra é zero. Ainda assim, quando da aproximação mais recente, ouvia-se o presságio do deslizamento da Califórnia mar adentro.

Na verdade, o risco representado por vulcões e terremotos poderia diminuir com o passar do tempo. Conforme descrito anteriormente, se a Terra acabasse perdendo o calor central, a força propulsora das placas tectônicas e, portanto, dos terremotos e vulcões, se extinguiria. Isso não chegará a acontecer antes do estágio de gigante vermelha do Sol.

Mais importante é o fato de que os seres humanos já estão tentando precaver-se para minimizar o perigo. Avisos prévios seriam úteis. No caso de vulcões, isso é simples. Um prudente cuidado com esses acidentes, bem como ter os olhos voltados para os sintomas premonitórios mais óbvios seriam de grande ajuda para evitar danos e mortes. Os terremotos são menos cooperativos, mas também dão indícios de sua atividade. Quando um lado da falha chega a ponto de escorregar sobre o outro, algumas alterações de menor porte já se fazem sentir no solo antes do choque propriamente dito; estas podem ser detectadas e avaliadas de alguma maneira.

Antes de um terremoto, observam-se alterações nas rochas, como um decréscimo na

resistência elétrica, um arrebitamento do solo e um aumento no fluxo das águas subterrâneas para interstícios que se abrem com a distensão gradual das rochas. O aumento do fluxo aquoso se faz indicar no ar pelo aumento de gases radioativos como o radônio — gases que até então estiveram presos entre as rochas. Há, mesmo, elevações no nível dos mananciais de água e um aumento de sua lama.

Por incrível que pareça, um dos principais indícios de um terremoto iminente *é* uma mudança geral no comportamento dos animais. Cavalos mansos dão coices e galopam desvairadamente, os cães uivam, os peixes saltam. Aqueles animais que costumeiramente se escondem, como ratos e cobras, repentinamente saem das tocas. Os chimpanzés passam menos tempo nas árvores e mais no chão. Não devemos concluir, a partir daí, que os animais têm a capacidade de prever o futuro ou que possuam um sentido diverso do nosso. O contato que têm com o ambiente natural é mais íntimo e suas vidas precárias fazem com que estejam mais atentos que nós a alterações quase imperceptíveis. Os mínimos tremores que precedem o choque real os perturbam; os sons estranhos provenientes do roçar dos lábios da falha os enervam.

Na China, onde os tremores de terra são mais freqüentes e destrutivos que nos Estados Unidos, empreendem-se grandes esforços no sentido de prevê-los. Mobiliza-se a população para sensibilizá-la a mudanças.

Comportamentos bizarros de animais são anunciados, assim como o são as diferenças no nível dos mananciais de água, a ocorrência de sons estranhos no solo e mesmo o enigmático trincamento de pinturas. Desse modo, os chineses afirmam ter previsto terremotos desastrosos com prazos de um a dois dias e salvado muitas vidas — em especial, dizem, no caso do tremor de 4 de fevereiro de 1975, no nordeste da China. (Por outro lado, parecem ter sido pegos de surpresa pelo monstruoso tremor do dia 28 de julho de 1976.) Mesmo nos Estados Unidos, as tentativas de previsão de terremotos tornam-se cada vez mais sérias. Nosso forte é a alta tecnologia, e a ela podemos recorrer para detectar as mais sutis mudanças, quer nos campos magnético, elétrico e gravitacional locais, quer nas modificações diárias de nível e conteúdo químico da água, ou nas propriedades do ar à nossa volta.

Contudo, faz-se necessária a dedução precisa do local, hora e magnitude da ocorrência de um terremoto, pois um falso alarma poderia sair caro. A evacuação súbita poderia causar mais incômodos que um terremoto de poucos graus na escala Richter, e a reação popular seria desfavorável caso a evacuação resultasse desnecessária. Por ocasião de novo aviso, as pessoas se recusariam a cooperar — justamente quando o terremoto poderia ser de grandes proporções.

Para fins de predição de terremotos com boa margem de certeza, determinar-se-ia uma série de medidas e a importância relativa de seus valores mutantes teria que ser avaliada. Bem se pode imaginar o que seria a leitura de doze medidores, cada um estudando uma propriedade diferente, alimentando um computador que avaliaria todos os efeitos e revelaria uma cifra que, uma vez acima de um dado ponto crítico, significaria a necessidade de evacuação.

A evacuação minimizaria os danos, mas isso por si só já seria satisfatório? Os terremotos seriam evitados inteiramente? Não parece haver qualquer meio prático de modificarmos a camada pedregosa subterrânea, mas a água subterrânea é outro caso. Se se cavassem fossas profundas, separadas umas das outras por alguns quilômetros ao longo de uma falha, e se a

água fosse forçada a adentrá-las e pudesse refluir, as pressões subterrâneas poderiam se aliviar, o que impediria os terremotos. Na verdade, a água poderia fazer mais que aliviar pressões. Ela poderia lubrificar as rochas e facilitar o deslizamento em intervalos mais freqüentes. Uma série de terremotos secundários inofensivos, mesmo em termos cumulativos, é bem melhor que apenas um de primeira grandeza.

Embora seja mais fácil, com alguns dias de antecedência, prever-se uma erupção vulcânica do que um terremoto, seria muito mais difícil e perigoso aliviar pressões vulcânicas do que pressões sísmicas. Ainda assim, não custa nada imaginar que os vulcões inativos poderiam ser perfurados de modo a manter uma passagem central aberta, por onde a lava pudesse subir sem criar pressões explosivas — ou onde se abririam canais mais próximos ao nível do chão em direções planejadas para causar menos problemas às pessoas.

Resumindo, parece razoável supor que a Terra permanecerá bastante estável enquanto o Sol estiver na seqüência principal e que a vida não será ameaçada por qualquer convulsão da própria Terra nem por qualquer movimento da crosta. E, quanto a calamidades locais causadas por vulcões ou terremotos, pode ser perfeitamente possível reduzir tais riscos.

10 — A MUDANÇA DO TEMPO

AS ESTAÇÕES

Mesmo se admitirmos a existência de um Sol perfeitamente seguro e de uma Terra perfeitamente estável, há alterações periódicas à nossa volta que podem constringir nossa capacidade e a das coisas vivas em geral de permanecer vivas. Pelo fato de a Terra ser aquecida pelo Sol de forma irregular, graças a seu formato esférico e ao fato de seu eixo ser inclinado, a sua distância do Sol varia à medida em que percorre a órbita elíptica.

Conseqüentemente, a temperatura média em qualquer dado setor da Terra sobe e cai no decorrer do ano, o qual é, portanto, dividido em estações.

Nas zonas temperadas, temos um verão notadamente quente e um inverno igualmente frio, com ondas de calor no primeiro e neve no último, e as estações intermediárias, a primavera e o outono. As diferenças nas estações são menos aguçadas quanto mais nos aproximamos do equador, pelo menos em termos de temperatura. Mas mesmo nas regiões dos trópicos, onde as diferenças de temperatura ao longo do ano não são grandes e o verão é eterno, há temporadas de chuvas e secas.

As diferenças nas estações são mais perceptíveis quanto mais nos aproximamos dos pólos. Com o Sol baixo, os invernos ficam mais severos e os verões, mais breves e menos quentes, até que nos pólos propriamente ditos se façam os dias e noites legendários, cada um durando seis meses com o Sol à beira do horizonte, logo acima ou abaixo dele, respectivamente.

Naturalmente, como bem sabemos, as estações do ano não apresentam mudanças brandas de temperatura. Há extremos que às vezes atingem intensidades desastrosas. Há períodos, por exemplo, em que as chuvas são escassas por longo período, resultando em secas que causam a perda de safras. Já que a população de zonas agrícolas tende a crescer enquanto as colheitas são prósperas, sempre uma seca é seguida de uma extrema escassez de víveres.

Em épocas pré-industriais, quando o transporte a longas distâncias era difícil, a escassez de gêneros alimentícios em certa província poderia chegar a extremos, apesar de a província vizinha ter estoque de alimentos. Mesmo nos tempos modernos, milhões morreram de fome vez por outra. Em 1877 e 1878, 9,5 milhões de pessoas morreram numa crise dessas na China e 5 milhões na União Soviética, após a Primeira Guerra Mundial.

Tais crises deveriam ser mais raras agora, pois é possível, por exemplo, transportar o trigo americano para a índia com rapidez, em caso de necessidade. No entanto, ainda há problemas. Entre 1968 e 1973, houve uma seca no Sahel, região da África ao sul do deserto do Saara, e 250 000 pessoas morreram de inanição, enquanto outros milhões chegaram à beira da morte.

Por outro lado, há períodos em que as chuvas são muito mais intensas que o normal e, na pior das hipóteses, isso pode causar a destruição por inundações. Estas são particularmente

destrutivas nas terras planas e povoadas que ladeiam os rios chineses. O Huang-ho, ou rio Amarelo (também chamado “Mágoa da China”), já inundou no passado e matou centenas de milhares de pessoas. Uma enchente do Huang-ho em agosto de 1931 parece ter afogado 3,7 milhões de pessoas.

Às vezes, a enchente do rio não destrói tanto quanto os ventos violentos que acompanham a tempestade. Nos furacões, ciclones, tufões, *etc.* (os mais variados nomes são dados a ventos que redemoinham rapidamente), a combinação de vento com água pode ser mortal.

Muitos danos ocorrem na baixada do rio Ganges, em Bangladesh, onde, em novembro de 1970, perto de 1 milhão de pessoas morreram sob o açoite de um ciclone que impeliu o mar para a terra. Pelo menos quatro outras tempestades na década anterior haviam, cada uma, vitimado 10 000 pessoas ou mais, em Bangladesh.

Onde quer que o vento se combine com neve sob as baixas temperaturas de inverno, formando nevascas, a mortandade é menor, posto que tais tempestades só ocorrem em áreas polares e subpolares, onde a população é escassa. No entanto, de 11 a 14 de março de 1888, uma nevasca de três dias no nordeste dos Estados Unidos matou 4 000 pessoas, e uma tempestade de granizo matou 246 pessoas em Moradabad, na Índia, em 30 de abril do mesmo ano.

A tempestade mais drástica é o tornado, que consiste em ventos redemoinhados com velocidade de até 480 quilômetros por hora. Pode destruir literalmente tudo por onde passa, mas tem o mérito especial de ser de curta duração. Mesmo assim, cerca de mil deles aparecem nos Estados Unidos por ano, principalmente nas regiões centrais, e o índice de mortalidade não é pequeno. Em 1925, 689 pessoas foram mortas por tornados nos Estados Unidos.

Tanto essas quanto outras manifestações extremadas do clima só se podem qualificar como calamidades, mas não como uma catástrofe.

Nenhuma delas ameaça a vida nem as civilizações, como um todo. A vida tem se adaptado a essas estações. Há organismos adaptados aos trópicos, aos desertos, à tundra, às florestas chuvosas, e a vida pode sobreviver a esses extremos, embora possa desgastar-se um pouco no processo.

Porém, será possível que as estações possam alterar sua natureza e eliminar toda forma de vida, ou parte dela, mediante um inverno prolongado ou uma seca prolongada? Será que a Terra pode se transformar em um Saara ou uma Groenlândia planetários? A experiência histórica tende a responder que não.

Houve algumas oscilações no pêndulo. Por exemplo, durante o mínimo Maunder, no século XVII, a temperatura média estava abaixo do normal — mas não o bastante para ameaçar a vida. Podemos ter uma série de verões secos, ou de invernos moderados, ou primaveras tempestuosas, ou outonos úmidos, mas as coisas sempre se invertem e nada se torna insuportável.

Nos últimos séculos, a ocasião em que a Terra experimentou a maior aberração climática foi em 1816, o ano seguinte à tremenda explosão vulcânica em Tambora. Tanta poeira foi erguida rumo à estratosfera que uma quantidade incomum de radiação solar foi lançada de volta ao espaço e impedida de atingir a superfície terrestre. O resultado foi o mesmo que obscurecer

ou resfriar o Sol, o que veio a apelidar 1816 de “o ano sem verão”. Na Nova Inglaterra nevou pelo menos uma vez por mês, inclusive em julho e agosto.

Logicamente, caso isso tivesse persistido ano após ano, o resultado teria sido catastrófico, mas a poeira assentou e o clima voltou ao normal.

Suponhamos, contudo, que voltássemos a épocas préhistóricas. Houve algum período em que o clima atingiu índices mais extremos do que hoje? A ponto de ser catastrófico? Naturalmente, jamais a ponto de extinguir a vida, pois os seres vivos ainda povoam a Terra em profusão — mas será que teria se extremado a ponto de causar problemas que uma vez reincidentes ameaçariam a vida?

O primeiro indício de que pelo menos houve essa possibilidade surgiu em fins do século XVIII, quando a geologia moderna nascia. Alguns aspectos da superfície terrestre começavam a se mostrar confusamente paradoxais à luz da nova geologia. Aqui e acolá encontravam-se seixos de natureza diversa do fundo rochoso. Em outros locais, havia depósitos de areia e pedregulho que pareciam não combinar. A explicação natural, na época, era a de que tais ocorrências eram devidas ao Dilúvio de Noé.

Em muitos lugares, entretanto, as rochas expostas estavam cobertas de estrias paralelas, antigas e desgastadas, que poderiam ter sido causadas pelo atrito entre rochas. Porém, nesse caso, algo teria que ter juntado uma rocha à outra com muita força e ainda restar força para esfregá-las uma contra a outra. A água sozinha não seria capaz disso; mas se não foi a água, o que pode ter sido?

Na década de 1820, dois geólogos suíços, Johann H. Charpentier (1786-1855) e J. Venetz, estudaram o assunto. Eles conheciam bem os Alpes suíços e sabiam que as geleiras, ao derreter e escoar no verão, depositavam areia e pedregulho. Será que a areia e o pedregulho teriam sido carregados morro abaixo e que a geleira desempenhava essa tarefa por moverse como um rio muito lento? Será que as geleiras poderiam levar grandes rochas, além da areia e do pedregulho? E se as geleiras fossem muito maiores naquele tempo, será que elas poderiam ter arrastado seixos sobre as rochas causando as estrias? E daí, se as geleiras carregassem areia, pedregulhos, seixos e rochas para além dos limites a que chegam hoje, elas poderiam afastar-se e deixar a matéria para trás, em lugares de que elas não fizessem parte?

Charpentier e Venetz afirmaram que foi isso que aconteceu.

Sugeriram que as geleiras dos Alpes tinham sido maiores e mais extensas em tempos passados, e que as rochas isoladas no norte da Suíça haviam sido carregadas até lá por enormes geleiras oriundas das montanhas sulinas no passado, e lá foram deixadas quando as geleiras se afastaram e decresceram.

A teoria de Charpentier-Venetz não foi levada a sério no início, pois os cientistas em geral duvidavam que as geleiras escoassem como rios. Um dos céticos foi um jovem amigo de Charpentier, um naturalista suíço, Jean L.R. Agassiz (1807-73). Ele decidiu testar as geleiras para verificar se realmente escoavam. Em 1839, introduziu estacas no gelo a 6 metros de profundidade e, no verão em 1841, descobriu que elas haviam sofrido um distanciamento bastante sensível. Além disso, aquelas que estavam no centro da geleira haviam se deslocado mais do que as colocadas nos lados, onde o gelo se retinha por atrito contra a encosta. O que antes era uma fileira de estacas tornou-se uma curva em U, com as pontas para cima. Isso

demonstrou que o gelo não se deslocava de modo uniforme. Em vez disso, havia uma espécie de escoamento maleável, à medida em que o peso do gelo de cima pressionava o gelo restante a se deslocar lentamente, como a pasta de dente no tubo.

Finalmente, Agassiz viajou por toda a Europa e a América à procura de estrias glaciárias sobre as rochas. Encontrou rochas e detritos em lugares que assinalavam o empurrão e o recuo das geleiras. Achou depressões, ou *"kettles",* que pareciam ter as características que se encontrariam se fossem cavadas por geleiras. Algumas estavam cheias de água, como os Grandes Lagos da América do Norte, que são exemplos dessas depressões cheias de água.

A conclusão de Agassiz foi que a época das extensas geleiras nos Alpes foi de amplos lençóis de gelo em outros lugares. Houve uma "era glacial" em que lençóis de gelo, como os que hoje cobrem a Groenlândia, cobriram muitas áreas da América do Norte e da Eurásia.

Desde então, cuidadosos estudos geológicos têm mostrado que o tempo, tal como se apresenta hoje, não é típico de determinadas épocas passadas. Muitas geleiras têm se expandido a partir das regiões polares num sem-número de vezes no último milhão de anos — e se retraído apenas para poderem avançar novamente. Entre os períodos de glaciação, haveria "eras interglaciais", como esta em que vivemos atualmente — mas não por completo. A enorme calota polar da Groenlândia é um remanescente vivo do último período de glaciação.

PROPULSORES DA MOVIMENTAÇÃO DAS GELEIRAS

As eras glaciais do último milhão de anos obviamente não extinguiram a vida no planeta. Nem mesmo extinguiram a vida humana. O *Homo sapiens* e seus ancestrais hominídeos sobreviveram às eras glaciais desse milhão de anos sem uma interrupção perceptível em sua rápida evolução e desenvolvimento.

Entretanto, vale questionarmos se há outro período de glaciação por vir ou se isso não é coisa do passado. Embora uma era glacial não signifique o fim da vida ou da humanidade e, portanto, não seja catastrófica, é bastante desagradável concebermos a idéia de o Canadá e o quarto superior dos Estados Unidos serem totalmente cobertos por uma geleira de 1 600 metros de espessura (sem falar na Europa e na Ásia).

Para sabermos se as geleiras voltarão, seria útil compreendermos, antes de mais nada, o que provoca períodos de glaciação. E, antes de tentarmos raciocinar assim, devemos entender que não é preciso muito tempo para que uma geleira comece a se deslocar; não precisamos, pois, postular mudanças radicais ou impossíveis.

Atualmente, neva em grande parte da América do Norte e da Eurásia a cada inverno, e essas regiões ficam cobertas de gelo como se a era glacial tivesse voltado. A capa de neve, contudo, tem apenas entre alguns centímetros e cerca de 2 metros de espessura, e no verão ela degela. Em geral há um equilíbrio, de modo que a neve que cai no inverno degela durante o verão. Não há uma mudança completa.

Mas suponhamos a ocorrência de algo que resfrie um pouco o verão, uns 2 ou 3 graus apenas. Esse fato nem seria notado, nem aconteceria ininterruptamente. Ainda haveria verões mais quentes e mais frios, distribuídos aleatoriamente, mas os verões mais quentes seriam menos freqüentes que os frios, de modo que, em média, nem toda a neve depositada no inverno degelaria. Haveria uma taxa de aumento anual da capa de neve.

Esse aumento seria lento e percebido apenas nas regiões subpolares e polares norte e nas regiões montanhosas mais altas. A neve acumulada se transformaria em gelo, e as geleiras das regiões polares e mais altas, mesmo em latitudes sulinas, expandir-se-iam mais no inverno e recuariam menos no verão. Cresceriam a cada ano.

A mudança seria auto-reguladora. O gelo reflete a luz com mais intensidade do que o rochedo ou o solo. Aliás, o gelo reflete 90 por cento da luz que incide sobre ele, enquanto o solo reflete menos de 10 por cento. Isso significa que à medida em que a capa de gelo se expande, mais luz solar é refletida e menos é absorvida. A temperatura média da Terra cairia um pouco, os verões seriam bem mais frios, e a capa de gelo se expandiria muito mais depressa. Conseqüentemente, as geleiras cresceriam e se transformariam em lençóis de gelo que avançariam lentamente, ano após ano, até que cobrissem vastas porções de terra.

Todavia, uma vez estabelecida a era glacial, com as geleiras tendo atingido o sul, um impulso contrário, de pequenas proporções, poderia dar início a um recuo geral. Se a temperatura média do verão subisse 2 ou 3 graus por um período extenso, mais neve degelaria no verão do que se depositaria no inverno, e o gelo recuaria aos poucos com o passar dos anos.

À medida em que recuasse, toda a Terra refletiria menos luz solar e absorveria mais. Isso aqueceria os verões e o recuo das geleiras se aceleraria.

O que devemos fazer, pois, é identificar o fator propulsor que põe em movimento o avanço e o recuo glaciais. Isso não é difícil. O problema, aliás, é que há tantos possíveis fatores que fica difícil escolher um só. Por exemplo, o impulso para essa movimentação pode estar no próprio Sol.

Mencionei anteriormente que o mínimo Maunder deu-se quando o clima da Terra pendia mais para o frio. Essa época é conhecida também por “a breve era glacial”.

Caso haja alguma relação, se os mínimos Maunder esfriam a Terra, então a cada 100 000 anos, talvez, pode ser que o Sol passe por um mínimo Maunder prolongado, de alguns milênios, em vez de décadas. Daí a Terra pode se esfriar a ponto de iniciar e suportar uma era glacial. Quando aumentasse a freqüência de manchas solares e o Sol passasse apenas por breves mínimos Maunder, a Terra novamente se aqueceria e o recuo glacial teria início.

Deve haver algo de verdadeiro nessa teoria, mas faltam provas.

Talvez um estudo mais aprofundado dos neutrinos solares, bem como da razão de serem tão poucos, possa nos ajudar a conhecer o que se passa no interior do Sol, para que possamos compreender a complexidade do ciclo de manchas solares. Daí, talvez, sejamos capazes de relacionar as variações nas manchas solares com os períodos de glaciação e possamos prever se e quando um novo período terá início.

Ou então, pode nem ser o Sol este fator (o Sol poderia continuar a brilhar com beleza e

constância). Pode ser, em vez disso, a natureza do espaço entre a Terra e o Sol.

Expliquei anteriormente que só havia uma mínima probabilidade de um encontro, por parte da Terra ou do Sol, com uma estrela ou qualquer outro pequeno objeto do espaço interestelar. Todavia, há nuvens esparsas de poeira e gás entre as estrelas nos arredores de nossa galáxia (e de outras galáxias parecidas), e a órbita solar deve atravessar algumas dessas nuvens em sua trajetória ao redor do centro galáctico.

As nuvens não são densas. Não nos envenenariam, nem à nossa atmosfera. Elas nem mesmo seriam notadas pelo observador comum, quanto mais catastróficas. De fato, o cientista da NASA Dixon M. Butler sugeriu, em 1978, que o sistema solar atravessara pelo menos uma dúzia de nuvens bem extensas ao longo de sua existência, e tal estimativa pode ser otimista.

O hidrogênio e o hélio são quase a totalidade do material que compõe as nuvens, e nenhum viria a nos afetar. Entretanto, aproximadamente 1 por cento da massa dessas nuvens consiste em poeira: grânulos de rocha ou gelo.

Cada grânulo refletiria, ou absorveria e reirradiaria a luz solar, de modo tal que cada vez menos luz chegaria à superfície terrestre.

Os grânulos poderiam nem ocultar a luz que incidisse sobre a Terra. O Sol continuaria brilhando e talvez as próprias estrelas não parecessem diferentes. No entanto, uma nuvem particularmente densa poderia bloquear a passagem da luz o suficiente para esfriar os verões a ponto de dar início a uma era glacial. Sair de dentro da nuvem poderia servir como impulso para um recuo glacial.

Pode ser que durante o último milhão de anos o sistema solar esteja atravessando uma região nublada da galáxia e que, ao passarmos por uma nuvem mais densa, a luz seja bloqueada e a era glacial tenha início. Antes do último período de 1 milhão de anos, houve um de 250 milhões de anos onde não existiram eras glaciais; talvez naquele tempo o sistema solar estivesse atravessando regiões limpas do espaço. Antes disso deu-se a era glacial de que falei e que propiciou o levantamento da hipótese da Pangéia.

É possível que a cada 200 ou 250 milhões de anos haja uma série de eras glaciais. Sendo este número muito próximo do número de anos constituintes do período de translação do sistema solar em torno do centro galáctico, talvez passemos pela mesma região nublada a cada translação completa. Se já ultrapassamos a região completamente, pode não haver outros períodos de glaciação nos próximos 250 milhões de anos. Caso contrário, um outro ou uma série deles podem nos aguardar antes disso.

Em 1978, por exemplo, um grupo de astrônomos franceses levantou a possibilidade de outra nuvem interestelar estar próxima. Pode ser que o sistema solar esteja se encaminhando para ela a uma velocidade de 20 quilômetros por segundo; nesse ritmo, ele alcançará o limite da nuvem em 50.000 anos.

Mas podem não ser nem o Sol nem a nuvem de poeira do espaço interestelar os verdadeiros propulsores. Pode ser a própria Terra, ou mesmo a atmosfera, que aciona o mecanismo necessário. A radiação solar tem que atravessar a atmosfera, o que pode afetá-la.

Consideremos que a radiação solar que chega à Terra o faz principalmente sob a forma de luz visível. O pico da radiação solar está nos comprimentos de onda da luz visível, que

atravessa a atmosfera com facilidade. Outras formas de radiação, tais como raios X e ultravioleta, produzidos pelo Sol em menor escala, são bloqueadas pela atmosfera.

Na ausência do Sol — como à noite —, a superfície terrestre emana calor para o espaço. Isso acontece sob a forma de ondas infravermelhas longas. Estas também atravessam a atmosfera. Sob condições normais, esses dois efeitos se equilibram e a Terra tanto perde calor de sua superfície noturna quanto ganha em sua superfície diurna, e a temperatura média na superfície permanece a mesma de ano a ano.

O nitrogênio e o oxigênio, componentes primordiais de toda a atmosfera, são transparentes tanto à luz visível quanto à radiação infravermelha. O dióxido de carbono e o vapor d'água, por sua vez, embora sejam transparentes à luz visível, não o são para a infravermelha. Isso foi discutido pela primeira vez em 1861 pelo físico irlandês John Tyndall (1820-93). O dióxido de carbono representa apenas 0,03 por cento da atmosfera terrestre e a quantidade de vapor d'água é variável e pequena. Portanto, eles não chegam a bloquear completamente a radiação infravermelha.

Mesmo assim, bloqueiam uma parte dela. Se não houvesse dióxido de carbono nem vapor d'água na atmosfera, muito mais radiação infravermelha se esvairia à noite. As noites seriam mais frias do que são agora, e os dias, começando mais frios, acabariam permanecendo frios. A temperatura média da Terra seria claramente mais baixa do que é.

Embora presente em pequena quantidade, o dióxido de carbono e o vapor d'água de nossa atmosfera bloqueiam parte da radiação infravermelha e funcionam como isolantes térmicos. Sua presença serve para produzir uma temperatura média mais alta para a Terra do que normalmente ela seria. Isso é conhecido como "efeito de estufa", pois o vidro de uma estufa para plantas funciona assim: permite a entrada da luz solar e impede a reirradiação infravermelha a partir do interior.

Suponhamos que, por alguma razão, o conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera tenha aumentado ligeiramente. Imaginemos que dobre para 0,06 por cento. Isso não alteraria a respirabilidade da atmosfera e não nos daríamos conta da alteração em si, só de seus efeitos. Uma atmosfera com esse ligeiro aumento de dióxido de carbono seria ainda mais opaca à radiação infravermelha. Uma vez impedida a radiação, a temperatura da Terra se elevaria ligeiramente. Esta intensificaria a evaporação dos oceanos, aumentaria o nível de vapor d'água no ar, o que também contribuiria para um aumento no efeito de estufa.

Suponhamos, por outro lado, que o conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera tenha diminuído pouco, de 0,03 para 0,015 por cento. Agora a radiação infravermelha emana mais facilmente e a temperatura da Terra cai ligeiramente. A baixas temperaturas, diminui o conteúdo de vapor d'água e, conseqüentemente, diminui o efeito de estufa. Tais elevações e quedas de temperatura poderiam ser suficientes para cessar ou iniciar um período de glaciação.

Mas o que poderia provocar a alteração do conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera? A vida animal produz grande quantidade de dióxido de carbono, mas a vida vegetal a consome em igual proporção e o equilíbrio se mantém como resultado da vida[43]. Entretanto, há processos naturais na Terra que produzem ou consomem dióxido de carbono independentemente da vicia, e eles podem quebrar o equilíbrio e produzir um propulsor.

Por exemplo, boa parte do dióxido de carbono atmosférico pode se dissolver no oceano, mas o que se dissolve pode ser facilmente devolvido à atmosfera. O dióxido de carbono pode até mesmo reagir com os óxidos da crosta da Terra para formar carbonatos, sendo mais provável que lá permaneça.

Logicamente, as porções da crosta terrestre expostas ao ar já absorveram o díóxido de carbono que perderam. Durante o período de formação montanhosa, porém, rochas novas surgem na superfície, rochas essas ainda não expostas ao dióxido de carbono, e ele pode agir como um veículo de absorção de dióxido de carbono, reduzindo sua porcentagem na atmosfera.

Por outro lado, os vulcões expelem grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera, pois o intenso calor que funde a rocha em lava quebra os carbonatos e libera novamente dióxido de carbono. Em períodos de intensa atividade vulcânica, o conteúdo de dióxido de carbono no ar pode aumentar.

Tanto os vulcões quanto as formações montanhosas são o resultado do movimento de placas tectônicas, conforme assinalei; há ocasiões, porém, em que as condições favorecem a formação montanhosa mais que a formação de vulcões, e vice-versa.

Possivelmente, quando a formação montanhosa predomina em dado período histórico, o dióxido de carbono diminui, a temperatura da superfície terrestre cai e as geleiras começam a se expandir. Quando o vulcanismo predomina, aumenta o dióxido de carbono, eleva-se a temperatura da superfície terrestre e as geleiras, caso existam, recuam.

Mas só para mostrar que as coisas não são tão simples assim, se a erupção vulcânica tende a ser violenta demais, grandes quantidades de poeira podem ser lançadas na estratosfera e isso pode produzir tantos "anos sem verão" como 1816, o que dará início a uma era glacial.

A julgar pela cinza vulcânica contida em sedimentos oceânicos, pareceria que o vulcanismo, nos últimos 2 milhões de anos, foi quatro vezes mais intenso que nos 18 milhões de anos anteriores. Então, é possível que uma estratosfera poeirenta seja o que esteja sujeitando a Terra a suas periódicas eras glaciais.

VARIAÇÕES ORBITAIS

Até aqui, os prováveis propulsores de glaciação e degelo que descrevi não servem para predições fidedignas do futuro.

Não sabemos, ainda, quais as regras que governam as pequenas mudanças na produção de radiação solar. Não temos muita certeza sobre o que nos espera em termos de colisões com nuvens cósmicas. Certamente não podemos prever os efeitos das erupções vulcânicas e da formação montanhosa no futuro. Parece que, qualquer que seja o propulsor, os seres humanos terão que passar ano a ano, milênio a milênio, à cata de boletins meteorológicos e suposições.

Contudo, há uma hipótese que tornaria as idas e vindas das eras glaciais tão inevitáveis

quanto a mudança das estações no decorrer do ano.

Em 1920, um físico iugoslavo, Milutin Milankovich, sugeriu a existência de um grande ciclo climático resultante de pequenas alterações periódicas envolvendo a órbita terrestre e sua inclinação axial. Ele mencionou o "grande inverno", em que houve eras glaciais, e o "grande verão", que representava os períodos interglaciais. Entre um e outro, logicamente, estariam a "grande primavera" e o "grande outono".

Naquele tempo, as teorias de Milankovich não mereceram mais atenção que as teorias do deslizamento continental de Wegener; ainda assim, é fato que *há* alterações na órbita terrestre. Por exemplo, ela não é perfeitamente circular, mas sim ligeiramente elíptica, com o Sol em um dos focos da elipse. Isso significa que a distância entre o Sol e a Terra varia ligeiramente a cada dia. Há uma época em que a Terra está mais no "periélio" — mais próxima do Sol — e uma época, seis meses mais tarde, em que se acha no "afélio" — mais longe do Sol.

A diferença não é grande. A elipse é tão suave (de pequena excentricidade) que mal se conseguiria diferenciá-la de um círculo apenas com o olhar. Apesar disso, a excentricidade de 0,01675 significa que, no periélio, a Terra dista 147 milhões de quilômetros do Sol e, no afélio, 152 milhões.

Isso é bastante do ponto de vista terreno, mas a diferença é de apenas 3,3 por cento. O Sol parece ser ligeiramente maior no periélio do que no afélio, mas isso só é observado por astrônomos. Além disso, a força gravitacional do Sol é maior no periélio que no afélio, o que faz com que a Terra se mova mais rápido no lado do periélio da órbita do que no lado do afélio; conseqüentemente, as estações não têm a mesma duração — fato que passa despercebido aos leigos.

Finalmente, isso significa que no periélio recebemos mais radiação solar que no afélio. A radiação que recebemos varia inversamente ao quadrado da distância, de modo que a Terra acaba recebendo 7 por cento a mais de radiação no periélio que no afélio. A Terra atinge seu periélio no dia 2 de janeiro de cada ano e o afélio no dia 2 de julho. Assim sendo, 2 de janeiro fica a menos de duas semanas após o solstício de inverno, enquanto 2 de julho fica a menos de duas semanas após o solstício de verão.

Isso quer dizer que, quando a Terra atinge ou está por atingir o periélio e receber mais calor que o normal, o hemisfério norte está em pleno inverno, enquanto o hemisfério sul está em pleno verão. O calor extra significa que o inverno do norte é mais moderado do que seria caso a órbita terrestre fosse circular, enquanto o verão do sul é mais quente. Na ocasião em que a Terra atinge ou está por atingir o afélio e receber menos calor que o normal, o hemisfério norte está em pleno verão, enquanto o hemisfério sul está em pleno inverno. O calor a menos significa que o verão do norte é mais fresco do que seria se a órbita terrestre fosse circular, enquanto o inverno do sul é mais frio.

Verificamos, assim, que a elipse da órbita terrestre permite à porção do hemisfério norte além dos trópicos uma menor oscilação entre verão e inverno, o que não vale para a do hemisfério sul além dos trópicos.

Dito dessa forma, pode-se ter a impressão de que o hemisfério norte não corre o risco de enfrentar uma era glacial, enquanto o hemisfério sul, sim, mas isso é incorreto. Na verdade, o inverno moderado e o verão mais fresco — a oscilação menor — predispõem um hemisfério a

uma era glacial.

Afinal de contas, basta que a temperatura esteja abaixo do ponto de congelamento para que neve, desde que haja excesso de umidade no ar. A diminuição da temperatura muito além do ponto de congelamento não faz com que a neve aumente. Em vez disso, é provável que diminua, pois quanto mais fria a temperatura, menor a umidade do ar. A nevasca máxima ocorre em um inverno o mais moderado possível, sem que a temperatura fique se elevando além do ponto de congelamento.

A quantidade de degelo no verão depende da temperatura, é claro.

Quanto mais quente for o verão, mais neve será degelada; quanto mais frio o verão, menos degelo. Conseqüentemente, quando se tem invernos moderados e verões frescos, há muita neve e pouco degelo, e isso é precisamente o que se requer para que se inicie uma era glacial.

Apesar disso, não estamos enfrentando uma era glacial no hemisfério norte, embora nossos invernos sejam moderados e nossos verões, mais frescos. Talvez a oscilação ainda seja grande; talvez haja outros fatores que farão com que os invernos fiquem mais moderados e os verões ainda mais frescos. No presente momento, por exemplo, o eixo da Terra está inclinado 23,5 graus. No solstício de verão, no dia 21 de junho, o extremo norte do eixo está voltado para o Sol. No solstício de inverno, no dia 21 de dezembro, o extremo norte do eixo está inclinado para o lado contrário.

Entretanto, o eixo da Terra não fica inclinado eternamente na mesma direção. Devido à atração que a Lua exerce sobre o bojo equatorial, o eixo terrestre oscila lentamente. Ele permanece inclinado, mas a direção da inclinação descreve vagarosamente um círculo a cada 25 780 anos. Isso se chama “a precessão dos equinócios”.

Dentro de 12 890 anos, o eixo deverá pender para a direção oposta, de forma que, se essa for a única diferença, o solstício de verão será no dia 21 de dezembro, e o solstício de inverno, no dia 21 de julho. O solstício de verão estaria no periélio e o verão do norte seria mais quente do que é agora.

O solstício de inverno estaria no afélio e o inverno do norte seria mais frio do que atualmente. Em outras palavras, a situação seria o inverso do que é agora. O hemisfério norte teria invernos frios e verões quentes, enquanto o hemisfério sul teria invernos moderados e verões frescos.

Mas há outros fatores. O ponto de periélio está se movendo ao redor do Sol. Cada vez que a Terra gira em torno do Sol, ela atinge o ponto de periélio em um lugar ligeiramente diferente. O periélio (e o afélio também) percorre um círculo completo ao redor do Sol em 21 310 anos. A cada 58 anos, o dia do periélio desloca-se um dia em nosso calendário.

No entanto, isso não encerra a questão. Um dos efeitos das várias atrações gravitacionais sobre a Terra é fazer com que a inclinação axial oscile. No momento, a inclinação axial *é* de 23,44229 graus, mas em 1900 era de 23,45229 graus e no ano 2000 será de 23,43928 graus. Como se vê, a inclinação axial está diminuindo, mas só diminuirá até certo ponto e, então, aumentará novamente e decrescerá, e assim por diante. Nunca chega a menos de 22 graus e nunca ultrapassa 24,5 graus. A duração do ciclo é de 41.000 anos.

Uma menor inclinação do eixo significa que ambos os extremos da Terra recebem menos

calor no verão e mais no inverno. O que resulta em invernos mais moderados e verões mais frescos para *ambos* os hemisférios.

Ao contrário, quanto maior a inclinação axial, mais extremadas serão as estações em *ambos* os hemisférios.

Finalmente, a órbita terrestre torna-se cada vez mais excêntrica. A excentricidade, que agora é de 0,01675, está diminuindo e acabará por alcançar um valor mínimo de 0,0033, um quinto de seu valor atual. Nessa época, a Terra estará 990 000 quilômetros mais próxima do Sol no periélio que no afélio. Além disso, a excentricidade começará a aumentar novamente até um máximo de 0,0211, ou 1,26 vez o valor atual. Então a Terra estará 6,31 milhões de quilômetros mais próxima do Sol no periélio do que no afélio. Quanto menor a excentricidade e maior o eixo circular da órbita, menor será a diferença na quantidade de calor recebida do Sol em diferentes fases do ano. Isso favorece a situação de inverno moderado/verão fresco.

Se todas essas variações na órbita terrestre e na inclinação axial fossem levadas em conta, pareceria que, de modo geral, a tendência a estações moderadas e a estações extremadas sucederia alternadamente em um ciclo de 100 000 anos.

Em outras palavras, cada uma das “grandes estações” de Milankovich dura cerca de 25 000 anos. Parece que acabamos de passar pela “grande primavera” das geleiras em recuo, após o quê, passaremos pelo “grande verão” e pelo “grande outono”, até chegarmos ao “grande inverno” de uma era glacial dentro de aproximadamente 50 000 anos.

Estaria correta toda essa teorização? As variações na órbita e na inclinação axial são pequenas, e a diferença entre inverno frio/verão quente e inverno moderado/verão fresco não é tão grande. Será o bastante?

O problema foi pesquisado por três cientistas, J. D. Hays, John Imbrie e N. J. Shackleton, tendo os resultados sido publicados em dezembro de 1976. Eles trabalharam com núcleos de sedimentos dragados de duas regiões diferentes do oceano Indico. Essas regiões distavam da terra, de modo que não houvesse material carregado do litoral para contaminar o registro dos resultados. As regiões eram também relativamente rasas, para evitar o material que pudesse ter sido depositado por regiões menos profundas.

O sedimento, poder-se-ia supor, seria material intocado armazenado nessa região por séculos a fio, e o comprimento de seu núcleo ter-se-ia erigido durante um período de 450 000 anos. A esperança era de que houvesse alterações conforme se percorressem os núcleos, alterações que fossem tão distintas quanto as alterações nos anéis das árvores, de modo a se obterem indicações de diferenças entre verões secos e verões úmidos.

Uma alteração estava relacionada com os minúsculos radiolários que habitaram o oceano durante os 500 000 anos investigados. Radiolários são protozoários unicelulares com um esqueleto minúsculo e bem-feito, que, após a morte, acumulam-se no fundo do mar como um tipo de lodo. Há numerosas espécies de radiolários, algumas das quais florescem em ambientes mais quentes. São facilmente distinguíveis umas das outras pela natureza de seus esqueletos e pode-se perfeitamente percorrer cada milímetro dos núcleos dos esqueletos radiolários e concluir, a partir deles, se em dada época a água do mar era fria ou quente. Poder-se-ia, assim, traçar uma curva real da temperatura oceânica em função do tempo.

Pode-se também acompanhar a mudança da temperatura oceânica registrando-se a proporção de duas variedades de átomos de oxigênio: o oxigênio 16 e o oxigênio 18. A água que contém o oxigênio 16 em suas moléculas evapora mais facilmente do que a água que contém o oxigênio 18.

Isso significa que a chuva e a neve são compostas por moléculas mais ricas em oxigênio 16 e mais pobres em oxigênio 18 do que a água do mar. Se uma grande quantidade de neve cai e se liga formando geleiras, a água do mar sofre um considerável déficit de oxigênio 16, enquanto o oxigênio 18 se acumula.

Ambos os processos de avaliação da temperatura da água (e a prevalência dò gelo sobre a terra) levaram ao mesmo resultado, embora tivessem origem diversa. Além disso, o ciclo produzido por esses sistemas era bem parecido com o ciclo calculado a partir das alterações da órbita terrestre e de sua inclinação axial.

Parece então que, embora carente de maior evidência, a noção das grandes estações de Milankovich é boa.

O OCEANO ÁRTICO

Se as eras glaciais se seguem às grandes estações, então deveríamos poder prever exatamente quando começará a próxima era glacial. Deverá ser daqui a 50 000 anos.

Logicamente não devemos crer que a causa de uma era glacial seja de uma única natureza. Deve haver mais que uma causa. Por exemplo, as alterações orbitais e axiais podem determinar o período básico, mas outros efeitos devem ter uma influência menos regular. Alterações na radiação solar, ou no empoeiramento do espaço entre a Terra e o Sol, ou na quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, podem por si sós, ou conjuntamente, influir no ciclo, reforçando-o em certas ocasiões e neutralizando-o em outras.

Se dois ou mais efeitos coincidirem, a era glacial pode assumir proporções descomunais. Se as alterações orbital e axial são neutralizadas por um espaço absolutamente limpo de poeira, ou uma quantidade de dióxido de carbono altíssima, ou um Sol manchadíssimo, a era glacial pode revelar-se muito moderada ou nem mesmo existir.

No nosso caso atual, podemos esperar pelo pior, pois dentro de 50 000 anos não apenas chegaremos ao grande inverno, como também (conforme descrevi no início do capítulo) poderemos estar adentrando uma nuvem cósmica que reduzirá a radiação solar que nos atinge.

Mas talvez estejamos completamente errados. Afinal de contas, as oscilações orbitais e axiais deveriam ter permanecido regulares desde que o sistema solar começou a existir com a estrutura atual. Deveria ter havido eras glaciais mais ou menos a cada 100 000 anos ao longo da história da vida.

No entanto, as eras glaciais têm ocorrido apenas no último milhão de anos, aproximadamente. Antes disso, por um período de cerca de 250 milhões de anos, parece não

ter existido qualquer era glacial. Pode até ser que haja períodos sucessivos de eras glaciais no decorrer de 2 milhões de anos, a intervalos de 250 milhões de anos.

Mas por que os intervalos? Por que não houve eras glaciais durante esses longos intervalos, sendo que as oscilações orbitais e axiais existiam naquele tempo da mesma forma que agora? A razão deve estar na configuração terramar da superfície terrestre.

Se uma região polar consistisse em uma vasta extensão de mar, haveria alguns milhões de quilômetros quadrados de gelo marítimo não muito espesso girando em torno do pólo. O gelo marítimo seria mais espesso e extenso no inverno e mais fino e menos extenso no verão.

Durante o término da oscilação orbital-axial na era glacial, o gelo marítimo seria mais espesso e extenso no inverno e no verão, mas só isso.

Afinal, há correntes marítimas que trazem continuamente água quente das zonas tropicais e temperadas, e isso tende a amenizar o clima polar, mesmo durante uma era glacial.

Uma vez mais, se a região polar consistisse num continente com o pólo no centro e com um mar inteiro à sua volta, seria de se supor que o continente fosse coberto por uma calota polar que não degelaria durante o verão frio e que acumularia gelo ano após ano.

O gelo não se depositaria eternamente, é claro, pois ele escoa quando está sob pressão — conforme constatou Agassiz há um século e meio. O gelo escoa gradualmente rumo ao oceano, dividindo-se em enormes *icebergs.* Os *icebergs,* junto com o gelo marítimo, boiariam ao redor do continente polar e degelariam gradualmente ao se aproximarem de latitudes mais temperadas.

Numa era glacial, os *icebergs* se multiplicariam e, nos períodos interglaciais, diminuiriam, mas a diferença seria pequena. O oceano circundante, graças às correntes marítimas, conservaria a temperatura a nível normal, quer na era glacial, quer não.

Verifica-se tal ocorrência na Terra, pois a Antártida é coberta por uma calota polar muito espessa e o oceano ao redor é entupido de gelo.

Entretanto, a Antártida carrega essa calota polar há uns 20 milhões de anos, mal sofrendo influências das eventuais eras glaciais.

No entanto, suponhamos que haja um oceano polar, mas *não* muito vasto. Imaginemos que haja um oceano pequeno e cercado de terra, como o oceano Ártico. O oceano Ártico, com as mesmas dimensões do continente antártico, é quase totalmente cercado pelas enormes massas continentais da Eurásia e da América do Norte. A única ligação importante entre o oceano Ártico e o restante das águas do mundo é um estreito de 1 600 quilômetros de largura, entre a Groenlândia e a Escandinávia, que, mesmo assim, é parcialmente bloqueado pela ilha da Islândia.

É na terra do norte que está a diferença. Durante o início de uma era glacial, a neve adicional que viesse a cair num inverno moderado cairia na terra, e não no mar. No mar, a neve simplesmente derreteria, pois a água tem alta capacidade calorífica e também porque, mesmo se a neve acumulada baixasse a temperatura da água ao ponto de congelamento, as correntes marítimas oriundas de climas mais quentes neutralizariam esse fenômeno.

Na terra, porém, os flocos de neve têm mais sorte. A capacidade calorífica da terra é menor

que a da água, e por isso a terra esfria com muito mais facilidade sob certa massa de neve. Ademais, não há qualquer tipo de corrente que amenize esse feito; portanto, o solo logo enregela. Daí, se não faz calor no verão para degelar a neve, esta vira gelo, e as geleiras iniciam sua marcha.

A presença de amplas porções de terra à volta do pólo norte prove uma enorme área receptora para a neve e o gelo, e o oceano Ártico (especialmente antes de a era glacial cobri-lo com gelo marítimo) prove a fonte de água. O arranjo continente-oceano é perfeito para maximizar o efeito da era glacial no hemisfério norte.

Mas o arranjo continente-oceano no hemisfério norte não *é* permanente. Ele muda freqüentemente em função das placas tectônicas.

Conseqüentemente, enquanto a superfície terrestre se configurar de modo que as regiões polares sejam ou mar aberto ou continentes isolados cercados de mar aberto, não haverá eras glaciais espetaculares. Somente quando as placas movediças surgirem com um arranjo tal como o que existe no pólo norte hoje é que o ciclo orbital-axial determinará o tipo de era glacial que agora conhecemos. Isso só acontece, aparentemente, uma vez a cada 250 milhões de anos.

Mas cá estamos, e com certeza a configuração dos continentes não sofrerá mudanças drásticas que nos atirem numa era glacial, ou mesmo numa série delas — pelo menos não no próximo milhão de anos.

O EFEITO DA GLACIAÇÃO

Imaginemos o advento de uma era glacial. Que tipo de calamidade ela seria? Afinal de contas, há 1 milhão de anos que enfrentamos as idas e vindas das geleiras e cá estamos todos. Assim é, e, se pensarmos sobre isso, veremos que as geleiras se arrastam bem devagar. Levam milhares de anos para avançar e, mesmo no estágio de máxima glaciação, é surpreendente como são poucas as alterações que o mundo sofre.

Neste exato momento, há aproximadamente 25 milhões de quilômetros cúbicos de gelo repousando em diversas superfícies terrenas do globo, especialmente na Antártida e na Groenlândia. No ápice da glaciação havia um lençol glacial monstruoso cobrindo a metade superior da América do Norte e lençóis menores na Escandinávia e no norte da Sibéria. Naquele tempo, um total de *15* milhões de quilômetros cúbicos de gelo ficava na terra. Isso significa que, no ápice da glaciação, 50 milhões de quilômetros cúbicos de água, que hoje é marítima, estavam na terra.

A água extraída dos mares para alimentar as geleiras era 4 por cento do total, mesmo no ápice da glaciação. Isso significa que, mesmo no ápice da glaciação, 96 por cento do oceano já estavam onde se encontram hoje.

Do ponto de vista da capacidade absoluta, portanto, a vida marítima não sentiria qualquer

compressão ambiental. Na verdade, a água do mar seria mais fria, em média, do que agora — mas e daí? A água fria dissolve mais oxigênio que a água quente, e a vida marítima depende do oxigênio tanto quanto nós. Por isso, as águas polares são mais ricas em vida do que as águas dos trópicos, e por isso as águas polares mantêm mamíferos gigantescos que vivem no mar — como as grandes baleias, os ursos polares, os leões-marinhos, e assim por diante.

Se durante uma era glacial a água do mar resfriasse mais, ela incentivaria a vida. Provavelmente *agora* é que a vida marítima sente o aperto.

A situação seria diferente na terra, e nela os problemas pareceriam bem mais calamitosos. No presente momento, 10 por cento do terreno da superfície terrestre estão cobertos de gelo. No ápice de uma glaciação, essa quantia se triplicou: 30 por cento do solo da superfície atual da Terra estavam cobertos de gelo. Isso significa que a área livre para a vida terrena reduziu-se de 117 milhões de quilômetros quadrados sem gelo, pelo menos no verão, para 90 milhões de quilômetros quadrados. Ainda assim, a descrição não é fiel à realidade.

No ápice de uma glaciação, a perda de 4 por cento da água do oceano significa uma queda de 150 metros no nível do mar. Isso não altera muito o oceano em si, mas ao redor dos continentes há extensões de terra submersas em águas rasas da borda oceânica. Essas zonas com menos de 180 metros de água acima delas são chamadas “plataformas continentais”. Ao baixar o nível do mar, a maior parte das plataformas continentais se expõe lentamente e abre-se à invasão da vida terrena.

Em outras palavras, à medida em que as geleiras avançam e engolfam o solo, o nível do mar baixa e expõe novo solo. Ambas as conseqüências se compensam. Como as geleiras escoam com baixíssima velocidade, a vegetação é levada para o sul e invade as plataformas continentais além das geleiras, e a vida animal segue o mesmo percurso.

Conforme as geleiras avançam, o cinturão das chuvas também recua para o sul, levando a chuva até regiões mais quentes da Terra, ainda (e desde então) não acostumadas à sua presença. Em resumo, os desertos atuais não eram desertos durante a era glacial. Antes do último recuo das geleiras, o que hoje é o Saara compreendia uma vasta extensão de terra fértil.

Por mais paradoxal que pareça, poderíamos afirmar que, com a exposição das plataformas continentais e o encolhimento dos desertos, o terreno total exposto à rica saturação de formas vivas era maior no ápice da era glacial do que hoje. Em especial, durante a última era glacial, os seres humanos — não os ancestrais hominídeos, mas o próprio *Homo sapiens* — deslocaram-se para o sul ante o avanço das geleiras, para o norte, após seu recuo, e prosperaram.

Por que, então, uma era glacial seria diferente no futuro? Por exemplo, imaginemos que uma geleira estivesse começando a avançar. Até que ponto isso seria desastroso?

A mobilidade humana é hoje menor que no passado. Por ocasião da última era glacial, devem ter existido 20 milhões de pessoas ao todo; hoje, há 4 bilhões — duzentas vezes mais. É mais difícil 4 bilhões se deslocarem do que 20 milhões.

Daí, então, consideremos a mudança no estilo de vida. Por ocasião da última era glacial, os seres humanos não eram nem um pouco presos à terra.

Eles eram meramente coletores e caçadores de comida. Seguiam a vegetação e os animais, e

qualquer lugar era o mesmo para eles, desde que pudessem encontrar frutas, nozes e caça.

Desde a última era glacial, os seres humanos aprenderam a ser fazendeiros e mineiros. As fazendas e as minas não podem se deslocar. Nem as complexas estruturas que o homem construiu: cidades, túneis, pontes, cabos elétricos, etc, *etc.* Nada disso é transportável; podem apenas ser abandonados e reconstruídos em algum outro lugar.

Porém, tenhamos em mente que o processo de avanço e recuo das geleiras é vagaroso; conseqüentemente, o nível do mar sobe e desce lentamente. Haverá tempo hábil para se efetuar a mudança, e de forma não desastrosa. Podemos imaginar a humanidade deslocando-se para o sul e em direção às plataformas continentais — e de lá para o interior e de volta ao norte — repetidas vezes, enquanto a atual configuração continental do pólo norte continuar a mesma. Seria como que um processo respiratório, com tipo de expiração durante 50 000 anos, seguido de uma inspiração com a mesma duração.

Não seria um movimento contínuo, pois as geleiras avançam com intervalos de recuo parcial, e recuam com intervalos de avanço parcial; mas os homens, mesmo com dificuldades, imitarão esses avanços e recuos em toda a sua complexidade — desde que todos os avanços e recuos sejam lentos.

Aliás, as diferenças ambientais não envolvem necessariamente só o avanço de geleiras. O recuo das geleiras desde a última era glacial não foi total. Ainda resta a calota polar da Groenlândia, relíquia intata da era glacial.

Com a aproximação de um grande verão, o que aconteceria se o clima continuasse a abrandar de modo que o gelo polar norte e, inclusive, a calota polar da Groenlândia derretessem?

A calota polar da Groenlândia contém 2,6 milhões de quilômetros cúbicos de gelo. Se esse gelo e o dos lençóis das outras ilhas polares derretessem e derramassem no oceano, o nível do mar se elevaria em *5,5* metros. Isso seria um incômodo para algumas regiões litorâneas e, em especial, para cidades baixas como Nova Orleans, que seriam alagadas.

Novamente, se o degelo fosse lento, poderíamos imaginar as cidades costeiras abandonando o litoral e recuando para terras mais altas, de forma não desastrosa.

Suponhamos que, por alguma razão, o lençol glacial da Antártida também degelasse. Isso é improvável, a julgar pelo desenvolvimento natural das coisas, pois ele sobreviveu a todos os períodos interglaciais do passado — mas suponhamos! Como 90 por cento do suprimento glacial da Terra se encontram na Antártida, se esta degelasse, o nível do mar subiria dez vezes mais que no caso do degelo da Groenlândia. O nível do mar subiria cerca de *55* metros e a água *alcançaria* o décimo oitavo andar dos arranha-céus de Nova York. Os litorais dos continentes atuais seriam submersos. O Estado da Flórida e muitos outros Estados do golfo sumiriam. O mesmo aconteceria às ilhas britânicas, aos Países Baixos, ao norte da Alemanha, e assim por diante.

Todavia, o clima terrestre ígualar-se-ia muito mais, e não haveria solo polar nem solo desértico. Até mesmo o espaço disponível para a humanidade poderia continuar tão grande quanto antes; e, se a mudança fosse gradual, nem mesmo o degelo da Antártida seria tão desastroso.

Se, porém, a vinda da próxima era glacial ou do degelo da Antártida forem adiados por

algumas dezenas de milhares de anos, pode não acontecer nada disso. O avanço tecnológico pode conseguir modificar a ação do propulsor da era glacial e conservar a temperatura média da Terra, caso isso seja desejado.

Por exemplo, poder-se-ia instalar no espaço próximo alguns espelhos que pudessem ser ajustáveis e refletir a luz solar sobre a superfície noturna da Terra, ou desviar os raios que normalmente incidem sobre a superfície diurna da Terra. Assim, a Terra poderia ser ligeiramente aquecida no caso de as geleiras se expandirem, ou resfriada, se o degelo tiver inicio.

Além disso, poderíamos desenvolver métodos para alterar de forma controlada a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera terrestre, permitindo que mais calor escapasse no caso de o degelo nos ameaçar, ou conservando o calor, no caso de as geleiras nos ameaçarem.

Finalmente, à medida em que a população for mudando para comunidades espaciais, as idas e vindas das geleiras tornar-se-ão menos importantes para a humanidade como um todo.

Resumindo, como no passado, as eras glaciais não seriam tão catastróficas no futuro. E poderiam nem ser desastrosas. Aliás, elas podem nem ocorrer, graças à tecnologia humana[44].

Mas e se as geleiras surgirem inesperadamente e com velocidade sem precedentes, ou se o suprimento glacial da Terra degelar inesperadamente e com velocidades sem precedentes — e se isso tudo acontecer antes que estejamos tecnologicamente preparados? *Aí* estaremos experimentando uma enorme calamidade ou mesmo quase uma catástrofe, e há condições sob as quais isso pode ocorrer — assunto que retomarei mais adiante.

11 — A REMOÇÃO DO MAGNETISMO

RAIOS CÓSMICOS

Embora os vários desastres que já envolveram a Terra, das eras glaciais aos terremotos, não tenham sido drásticos o suficiente para eliminar a vida da superfície do planeta, conforme Cuvier e os catastrofistas imaginavam, têm havido quase-catástrofes — ocasiões em que a vida sofreu prejuízos devastadores. No fim do período permiano, há 225 milhões de anos, num curto prazo de tempo, aproximadamente 75 por cento das famílias de anfíbios e 80 por cento das famílias dos répteis sucumbiram. Esse foi um exemplo do que alguns chamam de “morte em massa”.

Desde então, parece ter havido seis dessas mortes em massa. A época mais conhecida nesses termos foi a do final do período cretáceo, há aproximadamente 70 milhões de anos. Naquele tempo, os dinossauros desapareceram totalmente, após haverem proliferado por 150 milhões de anos. O mesmo aconteceu com os grandes répteis marítimos, como os ictiossauros, os plesiossauros e os pterossauros voadores. Dentre os invertebrados, os amonites, que formavam um grupo grande e prolifero, extinguiram-se. Aliás, 75 por cento de todas as espécies animais existentes na época sucumbiram em pouco tempo.

Parece provável que essas mortes tenham acontecido em função de alguma alteração marcante e repentina no ambiente, alteração essa que, porém, poupou muitas espécies e, pelo que podemos afirmar, pouco as abalou.

Uma das explicações lógicas possíveis implica os mares rasos que vez por outra invadem os continentes e eventualmente acabam por recuar. A invasão pode ocorrer quando a massa de gelo em solos polares *é* pequena; o recuo pode ocorrer durante o período de formação montanhosa, quando a altitude média dos continentes aumenta. De qualquer maneira, os mares rasos oferecem ambiente propício para várias espécies de animais marítimos, os quais, por sua vez, oferecem uma provisão de alimento constante e abundante para os animais que vivem nas regiões litorâneas. Quando os mares recuam, tanto os animais marítimos quanto aqueles que se alimentam deles acabam morrendo.

Em cinco dos sete casos de morte em massa ocorridos nos últimos 250 milhões de anos, a característica comum parece ter sido o recuo marítimo. A explicação também corrobora o fato de que os animais marítimos parecem mais sujeitos à morte em massa do que os animais terrestres, e de que o mundo vegetal parece não ser influenciado.

Embora o recuo marítimo pareça a solução mais lógica e razoável para o problema (e que não encerra motivos de terror para o ser humano, que não vive em mares fechados e que habita um mundo em que não há mares fechados importantes), muitas outras suposições foram oferecidas para explicar as mortes em massa. Uma dessas explicações, embora duvidosa, é de caráter altamente dramático. Além disso, apresenta um tipo de catástrofe que ainda não

discutimos e que pode ser uma ameaça à humanidade. Implica certa radiação espacial não oriunda do Sol.

No início do século XX, descobriu-se uma radiação mais penetrante e enérgica que as recém-descobertas radiações provenientes de átomos radioativos. Em 1911, com o propósito de confirmar que essa radiação emanava do solo, o físico austríaco Victor Francis Hess (1883-1964) lançou dispositivos de investigação de radiações em balões a 9 quilômetros de altitude. Ele esperava que o nível de radiação baixasse, pois parte dela seria absorvida pelo ar entre o solo e o balão.

Pelo contrário; resultou que a intensidade da radiação penetrante aumentou com a altitude, de modo que ficou claro que ela provinha do universo externo, ou cosmo. Por essa razão, o físico americano Robert Andrews Millikan (1868-1953) deu em 1925 o nome de "raios cósmicos" a essa radiação. Em 1930, o físico americano Arthur Holly Compton (1892-1962) demonstrou que os raios cósmicos eram partículas com carga positiva e muito energéticas. Agora sabemos como se originam os raios cósmicos.

O Sol e, presumivelmente, todas as estrelas sofrem processos energéticos que pulverizam partículas no espaço. A maioria dessas partículas são núcleos atômicos. Como o Sol é basicamente hidrogênio, os núcleos de hidrogênio, que são prótons simples, representam as partículas mais comuns envolvidas no processo. Outros núcleos mais complexos aparecem em menor quantidade.

Esses prótons energéticos e outros núcleos jorram do Sol em todas as direções, formando o vento solar a que me referi anteriormente.

Quando o Sol passa por eventos altamente energéticos, as partículas são atiradas para fora com mais energia. Quando a superfície solar irrompe em "chamas", algumas partículas muito energéticas somam-se ao vento solar e podem alcançar os limites inferiores das energias associadas aos raios cósmicos. (Chamam-se "raios cósmicos difusos".) Outras estrelas lançam ventos estelares; aquelas mais maciças e quentes que o Sol lançam ventos estelares mais ricos em partículas a nível da energia dos raios cósmicos.

Portando carga elétrica, as partículas dos raios cósmicos traçam uma trajetória curva ao penetrarem um campo magnético. Toda estrela tem um campo magnético, e a galáxia como um todo também tem um. Cada partícula de raio cósmico, portanto, percorre uma complexa trajetória curva e, no processo, acelera-se e ganha mais energia ao atravessar os campos magnéticos.

No final, todo o espaço interestelar de nossa galáxia é rico em partículas de raios cósmicos, as quais se movimentam em todas as direções dependendo de como são dirigidas pelo entrelaçamento dos campos magnéticos que atravessam. Uma pequena porcentagem delas tem toda a probabilidade de atingir a Terra, e fazem-no a partir das mais variadas direções.

Defrontamo-nos, assim, com um novo tipo de invasão espacial que ainda não levamos em conta. Já mencionei a improbabilidade de um contato entre o sistema solar e uma estrela, ou da penetração de porções de matéria oriunda de outros sistemas planetários. Já discuti também as partículas de poeira e átomos das nuvens interestelares.

É hora de considerarmos as invasões (oriundas do espaço além do sistema solar) dos

menores dentre todos os objetos materiais: as partículas subatômicas. Há tantas delas tão densamente distribuídas pelo espaço e viajando a velocidades tão próximas da da luz que a Terra é constantemente vítima do bombardeamento por parte delas.

Os raios cósmicos, porém, não deixam marcas visíveis sobre a Terra, nem percebemos sua chegada. Somente os cientistas, por meio de seus instrumentos especiais, conseguem captar a existência dos raios cósmicos, e isso apenas a partir das duas últimas gerações.

Ademais, eles atingem a Terra desde os primórdios da história planetária, e a vida do planeta não parece ter piorado por isso. Nem mesmo os homens sofreram suas conseqüências ao longo da história. Fica, assim, a impressão de que podemos eliminá-los como fonte catastrófica — o que não é verdade.

Para conhecermos as razões disso, vamos dar um passeio pela célula.

ADN E MUTAÇÕES

Toda célula viva é uma minúscula fábrica química. As propriedades, a forma, a estrutura e a capacidade de determinada célula dependem da natureza dos processos químicos que ocorrem em seu interior, da velocidade de cada um, e do modo como se inter-relacionam. Essas reações químicas seriam normalmente lentas e, mesmo, imperceptíveis, caso as substâncias constituintes das células e participantes das reações simplesmente fossem misturadas. Para que as reações ocorram com velocidade rápida e regulada (como normalmente acontece e *é* necessário para a sobrevivência da célula), elas dependem do auxílio de certas moléculas complexas chamadas “enzimas”.

As enzimas são membros de uma classe de substâncias chamadas “proteínas”. As proteínas são compostos de moléculas gigantes constituídas de cadeias de “aminoácidos”. Há cerca de vinte tipos de aminoácidos, que podem ser agrupados das mais diversas maneiras.

Imaginemos pegar um por um desses tipos e os combinar das mais diversas maneiras possíveis. O número total de arranjos possíveis considerados é de aproximadamente 50 000 000 000 000 000 000 (cinqüenta quintilhões), com cada arranjo representando uma molécula totalmente diferente. As moléculas reais de enzimas são formadas de cem aminoácidos ou mais, e são inúmeras as maneiras de combiná-las. Apesar disso, uma determinada célula conterá apenas um número limitado de enzimas, sendo que cada molécula de determinada estrutura enzimática de uma cadeia de aminoácidos é composta de um arranjo específico de aminoácidos.

Uma enzima é estruturada de tal forma que determinadas moléculas se prendam à superfície enzimática de modo que a interação entre elas — envolvendo a transferência de átomos — aconteça prontamente. Após concluírem a interação, as moléculas alteradas não mais se prendem à superfície. Deslocam-se e deixam que outras moléculas se prendam e sofram a reação. Em conseqüência da presença de umas poucas moléculas de dada enzima, muitas moléculas que na ausência da enzima não reagiriam acabam reagindo[45].

A conclusão a que se chega é a de que a forma, a estrutura e as capacidades de determinada célula dependem da natureza das diversas enzimas ali presentes, dos números relativos das diferentes enzimas e da maneira como desempenham seu papel. As propriedades de um organismo multicelular dependem das propriedades das células que o compõem e da maneira como se inter-relacionam. A longo prazo, então (o que não é simples, é claro), todos os organismos, inclusive os humanos, são produtos de suas enzimas.

Mas essa parece ser uma dependência muito arriscada. Se a enzima não é estruturada com um arranjo preciso de aminoácidos, ela pode não funcionar. Se se transformasse um aminoácido em outro, a superfície enzimática poderia não funcionar como o "catalisador" adequado para a reação a que fosse destinada.

O que, então, determina precisamente a estrutura da enzima? O que garante um determinado arranjo de aminoácidos para determinada enzima, e não outro? Existe alguma substância-chave que carrega um "código", por assim dizer, de todas as enzimas da célula, garantindo assim sua produção?

Se há uma substância-chave, ela se encontra nos "cromossomos".

Trata-se de pequenos corpos do núcleo central de uma célula que se comportam como se fossem portadores do código.

Os cromossomos aparecem em números variados em cada espécie de organismo. No ser humano, por exemplo, cada célula contém 23 pares de cromossomos.

Sempre que uma célula se divide, cada cromossomo subdivide-se em dois, sendo um o homólogo do outro. No processo de divisão celular, um dos homólogos de cada cromossomo vai para uma célula e o restante vai para outra. Desse modo, cada célula-filha fica com 23 pares de cromossomos, sendo que ambos os conjuntos de pares são idênticos. Isso é o que aconteceria no caso de os cromossomos serem portadores do código para estrutura enzimática.

Com exceção dos organismos primitivos, todos os outros produzem células sexuais, cujo papel é formar novos organismos mediante um processo mais complexo que a simples divisão celular. Assim, o homem (e os machos da maioria dos animais complexos) produz espermatozóides enquanto a mulher produz óvulos. Quando um espermatozóide junta-se a um óvulo, isto é, quando o fecunda, a combinação resultante sofre repetidas divisões até formar um novo organismo.

Tanto o óvulo quanto o espermatozóide contêm apenas a metade dos cromossomos convencionais. Cada espermatozóide e cada óvulo só recebem um de cada par. Quando se combinam, o óvulo fecundado tem novamente 23 pares de cromossomos, sendo que cada par se origina do pai e da mãe.

Assim, a prole herda características tanto do pai quanto da mãe, e os cromossomos se comportam como se trouxessem o código para produção enzimática.

Mas qual é a natureza química desse código?

Desde a descoberta dos cromossomos em 1879 pelo anatomista alemão Walter Flemming (1843-1905), havia uma crença de que o código, se existisse, deveria ser uma molécula bastante complexa, o que significa dizer uma proteína. As proteínas eram as substâncias mais complexas que se sabia existir nos tecidos, e as próprias enzimas eram proteínas, conforme

confirmou em 1926 o bioquímico americano James Batchellor Summer (1887-1925). Só mesmo uma proteína poderia servir de código para outra proteína.

Porém, em 1944, o médico canadense Oswald Theodore Avery (1877-1955) demonstrou que a molécula código não era uma proteína, mas sim um outro tipo de molécula chamada "ácido desoxirribonucléico", ou ADN.

Isso foi surpreendente, pois pensava-se que o ADN era uma molécula simples, inadequada enquanto código para as enzimas complexas. Porém, minuciosos exames provaram ser o ADN uma molécula complexa; mais complexa, aliás, que as próprias proteínas.

Assim como a molécula protéica, a molécula do ADN também é composta de estruturas básicas. No caso do ADN, a estrutura básica chama-se "nucleotídeo", e cada molécula de ADN pode ser formada de cadeias de milhares de nucleotídeos. Há quatro tipos diferentes de nucleotídeos (e não vinte, como no caso das proteínas), os quais podem se combinar das mais diversas maneiras.

Imaginemos agrupamentos de três nucleotídeos. Haveria 64 combinações possíveis, chamadas "trinucleotídeos". Numerando os nucleotídeos de 1 a 4, teríamos: 1-1-1, 1-2-3, *3-4-2,* 4-1-4, e assim por diante, até completarmos 64 combinações. Um ou mais desses trinucleotídeos poderiam ser equivalentes a um determinado aminoácido; alguns deles poderiam indicar "pontuação", como o início ou o fim de uma cadeia de aminoácidos. A codificação dos aminoácidos da cadeia enzimática pelos trinucleotídeos da molécula de ADN chama-se "código genético".

Mas tudo isso não explica um certo fator anterior essencial à compreensão do processo. O que capacita a célula a estruturar uma certa molécula de ADN (dentre tantas possíveis) que possibilitará a estruturação de determinada molécula enzimática?

Em 1953, o bioquímico americano James Dewey Watson (1928-) e o bioquímico inglês Francis H. C. Crick (1916-) conseguiram decifrar a estrutura do ADN. Este era composto de dois filamentos torcidos para formar uma dupla hélice. (Isto é, cada filamento tinha o formato de uma escada espiralada, com os dois filamentos entrelaçados.) De certa maneira, cada filamento era o oposto do outro, de modo que se encaixavam perfeitamente.

No processo de divisão celular, cada molécula de ADN se destorcia e compunha dois filamentos separados. Cada filamento era portador da estrutura de um segundo filamento, e ambas se ajustavam perfeitamente.

Cada filamento servia de código para o companheiro e, como conseqüência, de uma dupla hélice original resultavam duas outras idênticas à primeira. O processo era chamado "duplicação". Assim, cada molécula de ADN existente propagava-se, sem alterar sua configuração, da célula-mãe para a célula-filha, do genitor para a prole.

Conclui-se daí que toda célula e, de fato, todo organismo, inclusive o do ser humano, tem sua forma, sua estrutura e sua química (e, até certo ponto, o comportamento) determinados pela natureza de seu conteúdo de ADN. Para dois organismos distintos, a diferença no óvulo fecundado é pequena, mas em cada um a molécula de ADN é bastante diferente. Por isso, um óvulo humano gera um ser humano, e um óvulo de girafa gera uma girafa, sem que se confunda um com o outro.

Porém, da forma como acontece, a transmissão da molécula de ADN da célula-mãe para a célula-filha, do genitor para a prole, não é tão perfeita assim.

Diz a experiência dos pastores e fazendeiros que vez por outra nascem plantas ou animais que não têm exatamente as mesmas características dos organismos que os reproduzem. Normalmente, essas diferenças não são grandes nem mesmo aparentes, às vezes. De vez em quando, uma aberração chega a tais proporções que recebe o nome de “monstro”. O termo científico que designa toda prole cujos caracteres diferem do normal é “mutação”, que vem do latim e significa “mudança” — quer ela seja extremada, quer não.

De modo geral, as mutações pronunciadas eram vistas com desagrado e destruídas. Entretanto, em 1791, um fazendeiro de Massachusetts chamado Seth Wríght viu o lado prático de um mutante que surgiu em seu rebanho de ovelhas. Um cordeiro nasceu com as pernas extremamente curtas: diante disso, ocorreu ao astuto nortista a idéia de que o carneiro de pernas curtas não conseguiria pular os muros da fazenda para fugir. Em função desse acaso, ele deliberadamente criou uma linhagem de carneiros com pernas curtas, o que veio a despertar a atenção das pessoas para o fenômeno da mutação. Contudo, só após o trabalho do botânico holandês Hugo Marie de Vries (1848-1935), em 1900, é que as mutações foram estudadas cientificamente.

Na verdade, sempre que as mutações não eram muito pronunciadas e, portanto, não assustadoras nem repulsivas, os pastores e os fazendeiros acabavam tirando partido de suas vantagens. De cada geração era feita uma seleção daqueles animais que se adequavam melhor a necessidades humanas — as melhores vacas leiteiras, as melhores galinhas poedeiras, os carneiros de lã mais abundante, e assim por diante —, desenvolvendo-se linhagens que diferiam enormemente dos organismos selvagens dos quais se originavam.

Essa é a conseqüência da seleção de mutações pequenas e não muito importantes que, a exemplo dos carneiros de Wright, são transmitidas pelo animal à sua prole. De mutação em mutação, todas na mesma direção, as linhagens são “melhoradas”, do ponto de vista humano. Basta lembrarmonos das numerosas linhagens de cães e pombos para percebermos a destreza com que moldamos e formamos as espécies, simplesmente controlando os cruzamentos, conservando uma parte da prole e eliminando a outra.

O mesmo procedimento pode ser adotado com as plantas, e muito mais facilmente. O horticultor americano Luther Burbank (1849-1926) foi bem sucedido na criação de centenas de novos tipos de plantas, que eram uma versão melhorada das antigas em um ou outro aspecto, utilizando não apenas as mutações, mas também o cruzamento criterioso e o enxerto.

O que o homem faz propositadamente, as forças cegas da seleção natural demoram séculos para realizar. Em toda geração, as diferenças individuais dentro da prole de determinada espécie são o resultado de ligeiras mutações. Aqueles cujas mutações lhes permitem enfrentar a vida de modo mais eficiente têm maior probabilidade de sobreviver e transmitir as mutações a proles mais numerosas. Pouco a pouco, no decorrer de milhões de anos, novas espécies se formam a partir das velhas, ou substituem outras, e assim por diante.

Esse era o ponto central da teoria da evolução por seleção natural desenvolvido pelos naturalistas ingleses Charles Robert Darwin e Alfred Russel Wallace, em 1858.

A nível molecular, as mutações são o resultado de duplicações imperfeitas do ADN, que

podem ocorrer de célula para célula, no processo de divisão celular. Nesse caso, em dado organismo pode-se produzir uma célula diversa das demais do tecido. Isso é uma “mutação somática”.

Geralmente, as mutações são desfavoráveis. Afinal de contas, se imaginarmos uma molécula complexa de ADN se duplicando e estruturando-se de forma errada, veremos a improbabilidade de tal erro resultar num acerto.

Em conseqüência, uma célula que tenha sofrido mutação, quer na pele, no fígado, quer num osso, funcionará de forma tão deficiente que acabará sendo incapaz de se multiplicar. As células à sua volta continuarão a se multiplicar e irão expulsá-la de campo. Assim, o tecido como um todo continua normal, apesar de eventuais mutações.

A maior exceção a essa regra ocorre quando a mutação interfere no processo de crescimento. As células normais do tecido crescem e dividem-se para cumprirem a necessidade de substituição das células perdidas ou prejudicadas, mas uma célula que sofreu mutação pode não contar com o mecanismo que permite interromper o crescimento no momento certo. Pode crescer e se multiplicar indefinidamente, em detrimento da necessidade global. Esse crescimento indiscriminado é o câncer, a conseqüência mais drástica da mutação somática.

Vez por outra, a molécula do ADN sofrerá uma mutação que pode ser favorável sob determinadas condições. Não é sempre que isso ocorre, mas a célula prosperará e sobreviverá, de modo que a mutação não só se dá no organismo como um todo, como também no código de ADN, e é assim que as primeiras moléculas de ADN devem ter-se formado — da simples estrutura básica surgida por acaso até que uma dessas foi capaz de duplicar-se, e a evolução cuidou do resto.

De vez em quando, os espermatozóides ou os óvulos se formam com o ADN imperfeitamente duplicado. Eles produzem proles com mutação. Uma vez mais, a maioria das mutações é desfavorável, e a prole resultante não se desenvolve, ou morre cedo, ou, mesmo que sobreviva e procrie, acaba sendo superada por indivíduos mais eficientes. Muito raramente uma mutação é favorável sob determinadas circunstâncias; tendo surgido, porém, é provável que ela se fixe e prolifere.

Embora as mutações favoráveis ocorram com menos freqüência que as mutações desfavoráveis, as primeiras é que tendem a sobreviver e oprimir as demais. Por essa razão, o observador da evolução perceberá que há um propósito nisso tudo: os organismos parecem querer aperfeiçoar a si próprios.

É difícil acreditar que processos aleatórios do tipo tentativa e erro possam produzir resultados como os que verificamos à nossa volta — mas, desde que se dêem um tempo e um sistema de seleção natural que proporcione a exterminação de alguns indivíduos para que alguns melhoramentos se fixem, os processos aleatórios darão bons resultados.

A CARGA GENÉTICA

Mas por que as moléculas de ADN às vezes se duplicam de forma imperfeita? A duplicação é um processo aleatório. Conforme os nucleotídeos se alinhem num filamento de ADN, somente aquele que se ajustasse ao nucleotídeo do filamento poderia ficar. Membros dos outros três nucleotídeos não grudariam, por assim dizer.

Apesar disso, pelo movimento cego das moléculas, um nucleotídeo errado poderia atingir determinado nucleotídeo do filamento e, antes que pudesse escapulir, ficaria preso entre dois outros nucleotídeos que tivessem se emparelhado corretamente. Assim, teríamos um filamento de ADN que diferiria por um só nucleotídeo e, conseqüentemente, produziria uma enzima que diferiria por um aminoácido.

Mesmo assim, o filamento imperfeito gera um novo modelo a ser duplicado futuramente, em vez do original.

Sob condições naturais, a probabilidade da duplicação imperfeita de um filamento de ADN é de um em cada 50 000 a 100 000, mas há tantos genes nos organismos vivos e tantas duplicações, que a probabilidade de uma mutação eventual é uma certeza. Há muitas.

Pode ser que, entre os seres humanos, dois de cada cinco óvulos fecundados contenham pelo menos um gene mutante. Isso significa que 40 por cento de nós somos mutantes em relação a nossos pais em um aspecto ou outro. Como os genes mutantes tendem a se transmitir de geração a geração por algum tempo, antes de se extinguirem, alguns cálculos afirmam que o indivíduo humano carrega, em média, oito genes com mutação; em quase todos os casos, são genes cuja mutação é desfavorável. (Se não somos mais afetados, é porque os genes vêm aos pares e, quando um gene é anormal o outro toma as rédeas.)

A freqüência de mutação não se deve apenas ao acaso. Há fatores que favorecem a probabilidade da duplicação imperfeita. Há elementos químicos, por exemplo, que interferem no funcionamento do ADN e tolhem sua capacidade de funcionar apenas com os nucleotídeos adequados. Daí a probabilidade de a mutação aumentar. Como a molécula de ADN é uma estrutura complexa e delicada, muitos fatores químicos podem influenciá-la.

Estes se chamam “fatores mutagênicos”.

Além disso, há partículas subatômicas que facilitam o processo. As moléculas de ADN ficam ocultas nos cromossomos, os quais permanecem no núcleo central das células, e isso dificulta a penetração das substâncias químicas. Algumas partículas subatômicas, entretanto, penetram as células e, caso atinjam as moléculas de ADN, podem romper átomos de sua estrutura e alterá-las fisicamente.

As moléculas de ADN podem ser tão maltratadas dessa forma que acabam sendo impedidas de duplicar, e a célula morre. Se determinadas células forem destruídas, o indivíduo pode morrer do “mal de radiação”.

A conseqüência pode ser menos drástica: em vez de a célula morrer, produz-se uma mutação. (A mutação pode ser cancerosa, e sabe-se que a radiação energética é “carcinogênica — cancerígena — tanto quanto mutagênica. Na verdade, uma implica a outra.) Logicamente, se o espermatozóide ou o óvulo são afetados, produzem-se filhos com mutação, e esta pode ser tão drástica que resulta em malformação fetal (o que também pode ser causado por fatores mutagênicos).

O efeito mutagênico das radiações foi demonstrado inicialmente em 1926 pelo biólogo americano Hermann Joseph Muller (1890-1967), quando estudou as mutações em drosófilas, que proliferaram quando foram deliberadamente submetidas aos efeitos dos raios X.

Os raios X e as radiações radioativas eram desconhecidos do homem e, portanto, não eram produzidos antes do século XX, o que não quer dizer que não houvesse formas mutagênicas de radiação antes disso. A luz solar sempre existiu concomitantemente à vida na Terra, e é fracamente mutagênica por causa da luz ultravioleta que contém (e, por isso, expor-se ao sol continuamente pode aumentar a probabilidade do desenvolvimento de câncer na pele).

Além disso, há os raios cósmicos a que a vida sempre esteve exposta.

De fato, pode-se argumentar (embora alguns discordem) que os raios cósmicos, por meio das mutações que induzem, têm sido os principais propulsores da evolução há alguns bilhões de anos. Aqueles oito genes mutantes por indivíduo — quase todos malignos — são o preço que pagamos, por assim dizer, pelos poucos dos quais depende o futuro e que são benéficos.

Na verdade, se pouco é bom, muito nem sempre é melhor. As mutações mais malignas, oriundas de qualquer causa, representam um efeito debilitador de dada espécie, pois resultam em certo número de indivíduos anormais. Esta é a “carga genética” para aquela espécie (termo introduzido por H. J. Muller). Ainda há, porém, uma boa porcentagem de indivíduos sem mutações muito maléficas, e outros que possuem mutação benéfica. Estes conseguem sobreviver e prevalecer sobre os anormais de modo que, no geral, a espécie sobreviva e progrida apesar de sua carga genética.

Mas e se a carga genética crescer em função do aumento do grau de mutação? Isso significaria um maior número de indivíduos anormais e menor número de indivíduos normais ou acima da média. Sob tais condições, pode ser que o número de indivíduos normais e acima da média não seja o suficiente para o crescimento da espécie, em face dos anormais. Resumindo, ao contrário do que se pensa, o aumento da carga genética não vai acelerar a evolução, mas sim enfraquecer a espécie e levá-la à extinção. Uma pequena carga genética pode ser útil: a grande é letal.

Mas o que causa um aumento no grau de mutação? Os fatores aleatórios continuam sendo aleatórios, e a maioria dos fatores mutagênicos — luz solar, substâncias químicas, radioatividade — têm permanecido constantes em sua influência. Mas que dizer dos raios cósmicos? E se por algum motivo a intensidade de raios cósmicos que atinge a Terra aumentasse? Isso debilitaria as espécies a ponto de causar a morte em massa por causa de cargas genéticas pesadas demais para se suportar?

Mesmo se concordássemos em que as mortes em massa na história terrestre deveram-se ao recuo marítimo, será que um aumento repentino na intensidade dos raios cósmicos também causaria a morte em massa? Talvez, mas o que causaria o aumento na intensidade dos raios cósmicos?

Uma causa possível é o aumento na incidência de supernovas, as principais fontes de raios cósmicos. Isso não é muito provável. Dentre as centenas de bilhões de estrelas de nossa galáxia, o número total de supernovas tende a se manter a cada ano, a cada século. Será que a distribuição das supernovas muda? Será que às vezes um número enorme delas se encontra numa extremidade da galáxia e, em outras, mais próximas de nós?

Na verdade, isso não alteraria a intensidade dos raios cósmicos da forma como imaginamos. Como as partículas de raios cósmicos seguem trajetórias curvas, graças ao número de grandes campos magnéticos na galáxia, elas tendem a se espalhar por igual por toda a galáxia, independentemente de seus pontos de origem.

Grande número de novas partículas de raios cósmicos está sempre sendo formado pelas supernovas e, em menor escala, a partir de estrelas gigantes comuns, e essas partículas se aceleram e se tornam mais energéticas.

Se aceleradas suficientemente, elas podem abandonar a galáxia; ademais, muitas atingem as diversas estrelas e outros objetos da galáxia. Talvez passados 15 bilhões de anos desde o começo da existência da galáxia, um equilíbrio tenha sido atingido com números equivalentes de partículas desaparecidas e partículas formadas. Por esse motivo, podemos afirmar que a intensidade de raios cósmicos nas redondezas da Terra permanecerá mais ou menos constante através dos tempos.

Entretanto, há uma possível exceção para esse estado de coisas. Se uma supernova explodisse nas vizinhanças da Terra, estaríamos em apuros.

Já discuti a existência de supernovas próximas daqui, e apontei para o fato de que era pequena a probabilidade de sermos perturbados por elas num futuro previsível. Mesmo assim, só discuti o calor e a luz que receberíamos desses objetos. Que dizer dos raios cósmicos que receberíamos? Observemos que, a curta distância, os campos magnéticos pouco fariam para desviá-los e espalhá-los.

Em 1968, os cientistas americanos K. D. Terry e W. H. Tucker afirmaram que uma supernova de grandes dimensões emitiria raios cósmicos com intensidade 1 trilhão de vezes maior que a do Sol, e que isso ocorreria num prazo de uma semana. Se essa supernova estivesse a 16 anos-luz de distância, a energia dos raios cósmicos oriunda de tão longe seria equivalente à radiação total do Sol no mesmo espaço de tempo, o que bastaria para nos causar (e à maioria das formas de vida) o mal de radiação que nos mataria. O calor adicional emitido pela supernova e a onda de calor resultante seriam problemas irrelevantes nesse caso.

Logicamente, nenhuma estrela tão próxima de nós pode explodir em supernova, e nunca houve fato tão cruel no passado, pelo que se sabe, nem haverá no futuro previsível. No entanto, mesmo uma supernova mais distante causaria danos irreparáveis.

No momento, a intensidade dos raios cósmicos que atingem o topo da atmosfera terrestre chega a 0,03 rad por ano; ora, requer-se 15 rads (quinhentas vezes mais) para que danos sejam causados. Ainda assim, a julgar pela freqüência das supernovas e suas posições fortuitas e tamanhos, Terry e Tucker calculam que a Terra poderia receber uma dose concentrada de 200 rads, devido a explosões de supernovas a cada 10 milhões de anos, em média, e doses maiores em intervalos mais longos. Nos 600 milhões de anos que se passaram desde o primeiro registro fóssil, há a possibilidade de que tenhamos sido atingidos por 25 000 rads. Isso seguramente causaria problemas — mas há mecanismos naturais que reduzem a intensidade do bombardeamento de raios cósmicos.

Por exemplo, acabo de afirmar que a intensidade de raios cósmicos atinge certo nível no topo da atmosfera terrestre. Isso foi dito de propósito, pois a atmosfera não é totalmente transparente para raios cósmicos.

Conforme os raios cósmicos cruzam com os átomos e moléculas componentes da atmosfera, eles acabam colidindo mais cedo ou mais tarde.

Os átomos e moléculas são rompidos e as partículas emergem deles em "radiação secundária".

A radiação secundária é menos energética que a "radiação primária" das partículas de raios cósmicos no espaço, mas ainda pode causar danos. No entanto, elas mesmas chocam-se contra átomos e moléculas da atmosfera terrestre e, até que essas partículas atinjam a superfície terrestre, a atmosfera já absorveu uma boa quantidade da energia.

Em suma, a atmosfera age como um manto protetor — não muito eficiente, nem totalmente ineficiente. Os astronautas, ao orbitarem a Terra ou a Lua, estão sujeitos a um bombardeio mais intenso de raios cósmicos do que nós na superfície da Terra; isso tem que ser levado em conta.

Os astronautas que viajassem para além da atmosfera estariam absorvendo a radiação adicional, o que não seria verdadeiro no caso de longas permanências em colônias espaciais. Estas teriam que ser planejadas com paredes bastante espessas que nos dessem a mesma proteção contra raios cósmicos que a atmosfera nos oferece.

Na realidade, chegado o tempo em que a maior parte da humanidade estará instalada em comunidades espaciais, livre das vicissitudes do Sol, e indiferente à possibilidade de o Sol se tornar uma gigante vermelha ou uma anã branca, o fluxo e refluxo dos raios cósmicos representarão sua maior preocupação, por constituírem a principal possibilidade de catástrofe.

Logicamente, voltando ao âmbito da Terra, não há motivo para pensarmos que a proteção atmosférica deverá falhar e nos submeter ao aumento da intensidade de raios cósmicos — pelo menos não enquanto a atmosfera mantiver sua estrutura e composição atuais. Contudo, há um outro tipo de proteção que a Terra nos oferece e que é, a um só tempo, mais eficiente e menos estável; a explicação desse fenômeno requer a retomada de algumas idéias.

O CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

Aproximadamente em 600 a.C, o filósofo grego Tales (624-546 a.C.) fez experimentos com minerais naturalmente magnéticos e descobriu que eles atraíam o ferro. No final, descobriu-se que a magnetita (hoje conhecida como um óxido de ferro) podia ser usada para magnetizar finas fibras de aço, que então apresentavam suas propriedades com mais intensidade que a própria magnetita.

Durante a Idade Média, descobriu-se que, se uma agulha magnética fosse colocada sobre um objeto leve e móvel, ela invariavelmente se alinharia na direção norte—sul. Uma extremidade da agulha foi assim chamada de "pólo norte magnético", e a outra, de "pólo sul magnético". Os chineses foram os primeiros a registrar esse fato pouco antes de 1100, e cem anos depois os europeus desenvolveram a idéia.

O uso da agulha magnética como "bússola" é que deu segurança aos navegadores europeus e propiciou as grandes viagens de descobrimentos que tiveram início logo após 1400, viagens essas que deram à Europa o domínio absoluto do mundo por um período de aproximadamente cinco séculos. (Os fenícios, os *vikings* e os polinésios fizeram notáveis viagens marítimas sem a bússola, mas correram riscos mais sérios.) A possibilidade de localização do norte pela bússola pareceu um pouco misteriosa no começo, e a explicação menos mística dizia que no extremo norte havia uma montanha de minério magnético que atraía as agulhas. Naturalmente, surgiram lendas de navios que se aventuraram até lá.

Quando se aproximavam da montanha, o ímã arrancava os pregos dos navios, os quais se desmontavam e naufragavam. Uma dessas lendas aparece nas *Mil e uma noites.*

O médico inglês William Gilbert *(1544-1603)* arriscou uma explicação mais interessante em 1600. Ele esculpira um pedaço de magnetita em forma de esfera e estudara a direção em que a agulha da bússola apontava quando localizada nas diversas posições ao redor da esfera. Percebeu que ela se comportava em relação à esfera magnetizada da mesma forma como em relação à Terra. Portanto, ele concluiu que a própria Terra era um ímã, com o pólo norte magnético no Ártico e o sul na Antártida.

O pólo norte magnético foi localizado em 1831 no litoral ocidental da península de Boothia, a área mais setentrional da América do Norte, pelo explorador escocês James Clark Ross (1800-62). Nessa região, a ponta norte da agulha apontou para baixo. O pólo sul magnético foi localizado no contorno da Antártida em 1909 pelo geólogo australiano Edgeworth David (1858-1934) e pelo explorador britânico Douglas Mawson (1882-1958).

Mas por que a Terra é um ímã? Desde que o cientista inglês Henry Cavendish (1731-1810) medira a massa da Terra em 1798, sabia-se que a densidade média da Terra era alta demais para ser composta só de rochas.

Surgiu a noção de que o centro era de metal. Pelo fato de tantos meteoritos serem compostos de ferro e níquel na proporção de dez por um surgiu a idéia de que o centro da Terra poderia ser composto de uma mistura metálica parecida. Isso foi sugerido inicialmente em 1866 pelo geólogo francês Gabriel August Daubrée (1814-96).

No final do século XIX, estudou-se detalhadamente a maneira pela qual as ondas sísmicas percorriam o corpo da Terra. Foi demonstrado que as ondas que penetravam a 2 900 quilômetros de profundidade sofriam uma acentuada mudança de direção.

Sugeriu-se, em 1906, que a composição química naquele ponto se modificava radicalmente — as ondas atravessavam o manto rochoso e atingiam o centro metálico. Isso, hoje, é aceito. O centro da Terra é formado de ferro e níquel e tem a forma esférica, sendo de 6 900 quilômetros o seu diâmetro. Este centro perfaz um sexto do volume da Terra e, devido a sua alta densidade, representa um terço de sua massa.

É tentadora a suposição de que esse centro de ferro seja um ímã e que isso explique o comportamento da agulha magnética. Mas não é bem assim.

Em 1896, o físico francês Pierre Curie (1859-1906) demonstrou que uma substância magnética perde essa característica ao ser aquecida a altas temperaturas. O ferro perde suas propriedades magnéticas no "ponto Curie" de 760 graus centígrados. Para o níquel, o ponto

Curie é 356 graus.

Será possível que a temperatura do centro composto de ferro e níquel ultrapasse o ponto Curie? Sim, pois certos tipos de ondas sísmicas não passam pelo centro após atravessarem o manto. São do tipo que não percorre um corpo líquido, de onde se deduz ser o centro composto de ferro e níquel líquidos. Sendo de 1 535 graus centígrados o ponto de fusão do ferro em condições normais, e mais alto ainda sob as altas pressões na região central, este fato, por si só, explica que o centro não pode ser um ímã do modo como o seria um pedaço de ferro comum.

Contudo, a existência de um centro líquido abriu novas possibilidades. Em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) demonstrou a possibilidade de se produzirem efeitos magnéticos por meio de uma corrente elétrica ("eletromagnetismo"). Se a eletricidade passa por um fio helicoidal, o resultado *é* um efeito magnético muito parecido com o que se originaria de um ímã comum colocado ao longo do eixo da hélice.

Tendo isso em mente, o geofísico germano-americano Walter Maurice Elsasser (1904-) postulou, em 1939, que a rotação da Terra poderia causar redemoinhos no centro líquido: vastos e lentos redemoinhos de níquel e ferro fundidos. Os átomos são compostos de partículas subatômicas eletrícamente carregadas e, devido à estrutura específica do átomo do ferro, esses redemoinhos no centro líquido podem produzir o efeito de uma corrente elétrica com movimentos circulares.

Como os redemoinhos seriam provocados pela rotação terrestre do ocidente para o oriente, eles *também* girariam do oeste para o leste e o centro de níquel e ferro agiria como um ímã alinhado de norte a sul.

O campo magnético da Terra, porém, não é um fenômeno perfeitamente constante. Os pólos magnéticos trocam de posição com o tempo e, por alguma razão desconhecida, ficam a 1 600 quilômetros dos pólos geográficos. Além disso, os pólos magnéticos não ficam em lados exatamente opostos da Terra. Uma linha imaginária ligando os pólos magnéticos sul e norte passa a 1 100 quilômetros do centro da Terra. E mais: de ano a ano a intensidade do campo magnético varia.

Com esses dados, pode-se questionar o que ocorreu com o campo magnético no passado remoto e o que pode acontecer no futuro distante.

Felizmente há uma resposta — pelo menos para o passado.

Dentre os componentes da lava expelida pela ação vulcânica, há vários minerais fracamente magnéticos. As moléculas desses minerais tendem a se orientar paralelamente às linhas de força magnéticas. Enquanto os minerais estão em estado líquido, essa tendência é superada pelo movimento aleatório das moléculas devido à alta temperatura. Com o resfriamento da rocha vulcânica, porém, o movimento das moléculas se torna lento, e elas então se orientam na direção norte—sul. Quando a rocha se solidifica, a orientação se cristaliza. Uma por uma as moléculas repetem o ciclo e, finalmente, formam-se cristais em que podemos verificar pólos magnéticos: o pólo norte aponta para o norte e o sul para o sul, assim como na bússola magnética. (Podemos identificar o pólo norte de um cristal, ou de qualquer ímã, por ser aquele que repele o pólo norte da agulha magnética.) Em 1906, um físico francês, Bernard Brunhes,

verificou que alguns cristais rochosos vulcânicos eram magnetizados na direção oposta da esperada. Seu pólo norte magnético (identificado pela agulha da bússola) apontava para o sul. Nos anos seguintes à descoberta original de Brunhes, um grande número de rochas vulcânicas foi estudado, e descobriu-se que, embora em muitos casos os pólos norte magnéticos de cristais apontassem para o norte, como era de se esperar, em muitos outros casos os pólos norte magnéticos de cristais apontavam para o sul. Aparentemente, o campo magnético da Terra se inverte periodicamente.

Medindo-se a idade das rochas estudadas (por intermédio de qualquer método estabelecido), conclui-se que, nos últimos 700 000 anos, o campo magnético tem mantido a direção atual, que podemos chamar de "normal".

Anteriormente, por 1 milhão de anos, ele tinha a posição inversa durante quase todo o tempo, exceto em dois períodos de 100 000 anos, durante os quais era normal.

De forma geral, nos últimos 76 milhões de anos, foram identificadas nada menos que 171 inversões do campo magnético. O intervalo médio entre inversões é de cerca de 450 000 anos, e os dois alinhamentos possíveis, normal e invertido, duram mais ou menos o mesmo tempo. Porém, o intervalo de tempo entre as inversões varia muitíssimo. O maior lapso de tempo medido entre uma inversão e outra foi de 3 milhões de anos; o menor, de 50 000 anos.

Como ocorre essa inversão? Por um acaso os pólos magnéticos, os quais supostamente viajam pela superfície terrestre, percorrem o caminho todo — saindo do Ártico e indo para a Antártida, e vice-versa? Não parece provável. Se fosse assim, os pólos teriam percorrido regiões equatoriais por algum tempo entre uma inversão e outra. Neste caso haveria cristais orientados na direção leste—oeste, mas não há.

O que parece mais provável é uma variação na intensidade do campo magnético terrestre, um aumento seguido de uma diminuição. Cai a zero às vezes, e então aumenta novamente, mas em outra direção. Acaba diminuindo até zero uma vez mais, para então aumentar na direção original, e assim por diante, indefinidamente.

Isso é semelhante ao que ocorre com o ciclo de manchas solares. O número destas aumenta e diminui, e começa a aumentar novamente na direção inversa de seu campo magnético. Em seguida, diminuem e aumentam novamente na direção original. Assim como os picos de ocorrência de manchas solares eram alternadamente normais e invertidos, também os picos do campo magnético terrestre o são. Acontece que as variações na intensidade do campo magnético terrestre são muito mais irregulares que o ciclo de manchas solares.

Parece provável que o que determina a variação na intensidade do campo magnético e a inversão de sua direção são as variações da velocidade e da direção do redemoinho no centro líquido da Terra. Em outras palavras, o centro líquido gira em uma direção e cada vez mais rápido, depois perde velocidade até parar; daí ganha velocidade e vai girando na direção oposta, e então perde velocidade até parar e reiniciar na direção original, e assim por diante. Até hoje desconhecemos o motivo da mudança na direção do redemoinho, bem como o da mudança na velocidade ou o da irregularidade.

Todavia, conhecemos a influência do campo magnético da Terra em seu bombardeamento por raios cósmicos.

Na década de 1820, o cientista inglês Michael Faraday (1791-1867) elaborou o conceito de "linhas de força". Trata-se de linhas imaginárias que percorrem uma trajetória curva do pólo norte ao pólo sul magnéticos de determinado objeto, assinalando o trajeto em que o campo magnético tem valor constante.

Uma partícula magnetizada pode se deslocar livremente ao longo das linhas de força. Para cruzar as linhas, há um dispêndio de energia.

O campo magnético da Terra circunda a Terra, sendo que as linhas de força magnéticas unem seus pólos magnéticos. Qualquer partícula carregada oriunda do espaço deve cruzar essas linhas de força para atingir a superfície terrestre e, ao fazê-lo, despende energia. Se tiver apenas um pouco de energia, ela pode perdê-la completamente e ser incapaz de cruzar outras linhas de força. Nesse caso, só poderá se deslocar ao longo de uma linha de força, espiralando-a e passando o pólo norte ao pólo sul magnético, em idas e vindas contínuas.

Isso vale para muitas das partículas do vento solar, de modo que sempre há um grande número de partículas carregadas percorrendo as linhas de força magnéticas da Terra, instalando o que se chama "magnetosfera"

bem além da atmosfera.

Onde as linhas de força magnéticas se juntam nos dois pólos magnéticos, as partículas seguem essas linhas em direção à superfície terrestre e atingem o limite superior da atmosfera. Lá colidem com átomos e moléculas e, no processo, liberam energia e produzem as auroras, que embelezam os céus polares à noite.

As partículas mais energéticas conseguem cruzar todas as linhas de força e atingir a superfície terrestre, mas sempre com menos energia do que quando começaram. Além disso, são desviadas para o norte e para o sul, sendo que, quanto menos energéticas forem, mais para o norte ou para o sul serão desviadas.

Os raios cósmicos são suficientemente energéticos para atingir a superfície terrestre, mas enfraquecem e sofrem um desvio também, havendo um "efeito de latitude". Os raios cósmicos atingem a Terra com menor intensidade na região do equador e intensificam-se à medida em que nos aproximamos do norte ou do sul.

Como se pode observar, a concentração da vida em terra baixa à medida em que nos afastamos para o norte ou para o sul dos trópicos (a vida marítima é protegida, até certo ponto, pela espessura das águas) — daí resulta que não apenas o campo magnético enfraquece os raios cósmicos, como também eles são desviados de regiões mais populosas para as menos populosas.

A concentração de raios cósmicos nos pólos magnéticos, onde são mais intensos, parece não interferir na vida; a longo prazo, o sinal mutagênico dos raios cósmicos na vida é, de forma geral, amenizado pela existência do campo magnético terrestre.

Com a diminuição na intensidade do campo magnético da Terra, esse efeito protetor contra raios cósmicos se debilitará. Nos períodos em que o campo magnético sofre uma inversão, a Terra fica sem campo magnético, e o fluxo de raios cósmicos não é desviado. As zonas tropicais e temperadas, redutos da maior porção de vida terrena (inclusive a humana), ficam sujeitas, nessa época, a uma maior chuva de raios cósmicos.

E se uma supernova por acaso explodisse nas vizinhanças durante uma dessas inversões do campo magnético? As conseqüências seriam mais graves do que no caso de a Terra ter um campo magnético intenso. Será que algumas mortes em massa ocorreram por ocasião da explosão de uma supernova durante uma inversão de campo magnético?

É provável que não, pois é raro haver uma supernova nas redondezas, e raramente ocorre uma inversão de campo magnético. A coincidência de dois fenômenos tão raros é muito mais improvável que a ocorrência de cada um independentemente. Apesar disso, a coincidência *pode* ocorrer. E, se é assim, o que esperar do futuro?

O campo magnético da Terra parece ter perdido 15 por cento da força que tinha em 1670, quando se faziam as primeiras mensurações fidedignas e, com o atual grau de diminuição, alcançará o zero antes de 4000 d.C. Mesmo que não haja um aumento global de partículas de raios cósmicos pela explosão de uma supernova, as principais concentrações humanas serão duas vezes mais atingidas no ano 4000 do que hoje, com um conseqüente aumento da carga genética humana.

A menos que ocorra a explosão de uma supernova próxima, isso não será muito sério. E tal explosão é inviável, pois a supernova mais próxima antes de 4000 d.C. é Betelgeuse e, à distância em que se encontra, ela não vai nos incomodar — nem na ausência de um campo magnético.

No futuro mais longínquo, logicamente, a coincidência pode ocorrer, mas nem uma supernova vizinha, nem uma inversão de campo magnético poderão nos pegar de surpresa. Ambas nos mostrarão indícios de sua ocorrência, dando-nos bastante tempo para improvisarmos uma proteção contra o ataque de raios cósmicos.

Entretanto, trata-se de uma catástrofe em potencial, a qual (repetindo) terá uma influência mais perigosa nas comunidades espaciais que na própria Terra.

Parte IV

CATÁSTROFES DO QUARTO GRAU

12 — A COMPETIÇÃO DA VIDA

ANIMAIS DE GRANDE PORTE

Detenhamo-nos um pouco e façamos nova síntese.

Dentre as catástrofes do terceiro grau discutidas aqui, relativas à diminuição, por parte da Terra, de sua capacidade de abrigar a vida, o único evento realmente adverso (e possível) é uma nova era glacial ou, pelo contrário, o degelo dos atuais lençóis de gelo. Se algo assim acontecer no curso normal da natureza, será muito lentamente e, com certeza, não antes de uns milhares de anos. Mais importante: tal evento pode ser suportado ou, mais provavelmente, controlado.

A humanidade poderia, assim, sobreviver por tanto tempo que chegaria a experimentar uma catástrofe do segundo grau, em que o Sol sofresse modificações que impossibilitariam a vida sobre a Terra. Dentre as catástrofes desse tipo, a única possibilidade é o Sol se transformar numa gigante vermelha dentro de alguns bilhões de anos — e isso, se não pode ser controlado, pode certamente ser evitado pela fuga do planeta.

Dessa maneira, a humanidade conseguiria sobreviver a ponto de experimentar uma catástrofe do primeiro grau (o universo como um todo tornado inabitável). Em minha opinião, o mais provável é a formação de um novo ovo cósmico. Isso, aparentemente, não pode ser controlado nem evitado, representando, assim, o fim absoluto da vida — que, contudo, não acontecerá por outro trilhão de anos; até lá, quem sabe do que a tecnologia será capaz.

E mesmo assim não estamos a salvo — nem a ponto de sobreviver à próxima era glacial — porque há perigos bem mais iminentes nos ameaçando, muito embora o universo, o Sol e a Terra sigam vivendo plácida e benevolentemente.

Em outras palavras, devemos agora considerar as catástrofes do quarto grau, aquelas que ameaçam especificamente a existência humana na Terra — ainda que a vida em geral continue sobre o planeta.

Mas o que pode dar cabo da vida humana enquanto todo o resto permanece vivo?

Para começar, os seres humanos constituem uma espécie orgânica particular, e o destino comum a todas as espécies é a extinção. Pelo menos 90 por cento de todas as espécies que já viveram se extinguiram; dentre aquelas ainda vivas hoje, uma boa porção não mais se apresenta tão numerosa ou pujante como em dias passados. Uma parte bem razoável delas, na verdade, acha-se no umbral da extinção.

A extinção pode resultar de modificações ambientais intoleráveis a certas espécies. Já discutimos alguns tipos de modificações ambientais e discutiremos outros. Mas a extinção também se pode dar devido à competição aberta entre as espécies e à vitória de uma espécie ou grupo de espécies sobre outra. Assim, em todo o mundo, na competição pela vida num

mesmo ambiente, os mamíferos placentários venceram e substituíram os menos evoluídos marsupiais e monotremos. Só a Austrália agora conta com uma variedade prolifera de marsupiais e até com um par de monotremos, porque separou-se da Ásia antes de os animais placentários evoluírem.

Há, então, alguma probabilidade de sermos de algum modo dizimados por alguma outra forma de vida? Não somos as únicas formas de vida no mundo. Conhecem-se cerca de 350 000 diferentes espécies vegetais e talvez 900 000 espécies distintas de animais. Pode muito bem haver mais 1 a 2 milhões de espécies ainda não descobertas. Será que alguma delas representa sério risco para nós?

Nos primórdios da história dos hominídeos, toda sorte de riscos estava presente. Nossos ancestrais hominídeos, tendo por abrigo apenas sua própria pele e por armas somente os diferentes membros de seu corpo, não eram rivais à altura dos grandes predadores ou, mesmo, dos grandes herbívoros.

Os primeiros hominídeos devem ter conseguido comida pilhando as posses do mundo vegetal inativo; talvez, ocasionalmente, levados pela fome, tenham se alimentado de pequenos animais que, com sorte, apanhavam — comparando com os chimpanzés de hoje. Quanto a animais do tamanho do homem ou maiores, o único recurso era fugir ou se esconder.

Entretanto, mesmo nos primeiros estágios de desenvolvimento, os hominídeos já aprendiam a utilizar instrumentos. A mão hominídea era delineada de modo a permitir a apreensão de um fêmur ou de um galho de árvore, com que não mais se achava desarmada, podendo enfrentar cascos, garras e presas com maior segurança. À medida em que os hominídeos com crescentes cérebros evoluíam e aprendiam a fazer machados de pedra e lanças com pontas de pedra, a balança começava a pender mais para seu lado. O machado de pedra era melhor que um casco; a lança com ponta de pedra, melhor que uma presa ou garra.

Com o aparecimento do *Homo sapiens* e o início de suas caçadas em bandos, ele pôde (arriscando-se um pouco, é claro) abater animais de grande porte. Durante a última era glacial, os seres humanos eram bastante hábeis na caça aos mamutes. Aliás, podem ter sido as caçadas humanas que levaram o mamute (e outros animais grandes da época) à extinção.

Além disso, a utilização do fogo deu aos homens uma arma e uma defesa que nenhuma outra espécie viva poderia imitar ou dela se resguardar, e com cuja proteção os seres humanos se asseguravam contra a predação, já que os outros animais, independentemente de tamanho e força, cuidadosa e sensatamente evitavam o fogo. Quando a civilização se iniciou, os grandes predadores já tinham sido, em essência, derrotados.

Naturalmente, seres humanos individuais ainda se achavam desamparados se subitamente defrontados com um leão, um urso ou outro carnívoro grande, ou até com um herbívoro enraivecido como um búfalo da Índia ou um touro selvagem. Estes, contudo, eram como que meros bichos de estimação, embora bastante perigosos para o indivíduo a sós com o animal.

Não resta duvida de que, mesmo na aurora da civilização, os seres humanos, se determinados a livrar uma área qualquer de animais perigosos, sempre conseguiam fazê-lo — embora alguns elementos pudessem ser vitimados. Além disso, se adequadamente armados, podiam matar animais por esporte ou capturá-los para expô-los como troféus — ainda que, igualmente, com possíveis vítimas humanas.

Mesmo hoje existem derrocadas individuais; ninguém, porém, consegue sequer imaginar a espécie humana em perigo diante de animais de grande porte agora existentes (nem que estivessem todos eles reunidos).

Aliás, dá-se exatamente o contrário. Quase sem esforço, a humanidade pode conduzir todos os animais grandes do mundo à extinção; na realidade, sua consciência agora dita que deve empreender um esforço deliberado (e, em alguns casos, quase desesperado) para *não* o fazer. Uma vez decidida a batalha, é quase como se *os* seres humanos chorassem a perda de um inimigo querido.

Em tempos antigos, quando a vitória já estava garantida, restavam talvez traços difusos de memória de uma época em que os animais eram mais perigosos, mais assustadores, mais fatais — e, conseqüentemente, a vida era mais emocionante e cheia de suspense. Obviamente, nenhum dos animais conhecidos poderia ser imaginado como sendo tão perigoso e ameaçador diante dos esforços conjuntos dos homens; assim, animais imaginários foram criados. Alguns deles adequavam-se a tal necessidade devido a seu tamanho descomunal. Pela Bíblia, toma-se conhecimento do “behemoth”, aparentemente o elefante ou o hipopótamo, mas com dimensões irracionalmente expandidas pelos criadores de lendas. Lê-se lá, também, sobre o leviatã, que parece ter sido baseado no crocodilo ou na baleia — porém, outra vez, absurdamente gigantesco.

Até gigantes com formas humanas são citados na Bíblia e abundam em lendas e no folclore. Assim, temos Polifemo, o ciclope de um olho só da *Odisséia,* e os gigantes que aterrorizavam a rapaziada com seus *“Fi-fai-fou-fum”* nos contos folclóricos ingleses.

Uma vez sobrepujado o obstáculo do tamanho, atribuíram-se aos animais poderes mais letais do que, na realidade, possuem. O crocodilo desenvolve asas e passa a soprar fogo, transformando-se no terrível dragão.

Cobras que, concretamente, matam pela picada, sobem de posto na habilidade de matar (agora, pelo bafo ou mesmo pelo olhar), tornando-se basiliscos ou serpentes fabulosas. Os polvos ou lulas podem ter inspirado as histórias da Hidra, que tinha nove cabeças e foi morta por Hércules; ou de Cila, com múltiplas cabeças e para quem Odisseu perdeu seis homens; ou da Medusa, com seu cabelo de cobras vivas, que transformava em pedra aqueles que a fitassem (e que foi destruída por Perseu).

Havia combinações de criaturas. Havia centauros, com cabeças e torsos de homem e corpos eqüinos (inspirados, talvez, na primeira visão, por parte de homens simplórios, de cavaleiros sobre seus cavalos). Havia esfinges (cabeças e torsos de mulher e corpos de leão), grifos, combinações de águia e leão; quimeras, mistura de leão, bode e cobra. Havia criaturas mais benignas: cavalos alados, unicórnios e outros.

O que todos tinham em comum era o fato de nunca terem existido; e, mesmo que existissem, nunca poderiam abater o *Homo sapiens.* E, dizem as lendas, nunca o fizeram, porque o cavaleiro sempre acabou por vencer o dragão. Quanto aos gigantes humanos, se existissem, sendo tão obtusos e primitivos quanto eram descritos, não poderiam jamais oferecer-nos qualquer perigo.

ANIMAIS DE PEQUENO PORTE

Na realidade, os mamíferos pequenos podem representar maiores riscos do que os grandes. É claro que um mamífero pequeno sozinho é menos perigoso que um grande — por razões óbvias. O menor tem menos energia a ser despendida, é mais facilmente eliminável e é menos eficiente no revide.

Aliás, os mamíferos pequenos não tendem a revidar; eles fogem. E, porque são pequenos, podem se esconder mais facilmente, enfiar-se em cantos e gretas onde não possam ser vistos e de onde dificilmente são tirados.

A menos que sirvam como alimento, sua própria pequenez tende a reforçar sua pouca importância, e a perseguição (por parte de seus oponentes) é mais facilmente abandonada.

E, também, um mamífero pequeno, geralmente, não significa nada sozinho. Organismos pequenos tendem a viver menos que os grandes; viver menor tempo de vida, porém, significa chegar à maturidade sexual e procriar mais cedo. E requer-se bem menor investimento energético para a produção de um mamífero de pequeno porte do que de um grande. Nos mamíferos pequenos, a gestação é mais curta e a prole é muito mais numerosa do que nos mamíferos grandes.

Um ser humano não amadurece sexualmente antes dos treze ou catorze anos, em média; a duração da gestação é de nove meses; uma mulher que tivesse dez filhos já teria um número bem suficiente. Se um casal humano tivesse dez filhos e se todos esses se casassem e tivessem, cada um, dez filhos, os quais, por sua vez, se casassem e tivessem dez filhos, então, em três gerações, o número total de descendentes do casal original seria de 1110.

Um rato norueguês, por outro lado, alcança a maturidade sexual entre a oitava e a décima segunda semana de vida. Ele pode se reproduzir de três a cinco vezes por ano, tendo de quatro a doze rebentos a cada vez. Esse rato tem um tempo de vida de apenas três anos, mas, durante esse período, consegue facilmente produzir sessenta rebentos. Se cada um destes produzisse outros sessenta e, cada um destes, novos rebentos, então, em três gerações, 219 660 ratos teriam sido criados — em nove anos.

Se esses ratos continuassem a se multiplicar normalmente durante o prazo médio de vida humana (setenta anos), o número total de ratos somente na última geração seria assombrosamente grande: 5000000000000000000000000000000000000000, os quais pesariam quase que 1 quatrilhão de vezes o peso da Terra.

Naturalmente, nem todos sobrevivem, e o fato de que bem poucos ratos vivem o suficiente para se reproduzir com sua total potencialidade não é exatamente um desperdício, no esquema global, pois ratos são uma parte essencial da dieta das criaturas maiores.

Entretanto, essa “fecundidade”, essa capacidade de produzir grandes proles muito rapidamente significa que o rato como indivíduo é virtualmente uma cifra e que a matança de ratos praticamente não surte efeito. Ainda que quase todos os ratos sejam mortos numa cruzada organizada contra eles, os que sobreviverem podem compensar o déficit em velocidade desencorajadora. De fato, quanto menor o organismo, menos importante e efetivo o indivíduo

e mais “imortal” e potencialmente perigosa a espécie.

Além do mais, a presença da fecundidade acelera o processo da evolução. Se, em qualquer geração, a maioria dos ratos é afetada de modo adverso por um certo veneno, ou se torna vulnerável por causa de certo traço de comportamento reflexo, em contrapartida sempre há alguns que são estranhamente resistentes ao veneno, como resultado de uma afortunada mutação ao acaso, ou que apresentam um traço comportamental que os faz menos vulneráveis. São estes ratos resistentes e menos vulneráveis que tendem a sobreviver e procriar, e suas proles freqüentemente herdam a resistência e a comparativa invulnerabilidade. No espaço de um brevíssimo período de tempo, portanto, qualquer estratégia usada para tentar reduzir a população de ratos falha.

Isso dá a impressão de que os ratos são malevolamente inteligentes; eles realmente são inteligentes para seu tamanho, mas não *tão* inteligentes.

Não é o indivíduo que estamos combatendo, mas a espécie, fecunda e em evolução.

Realmente, é bem razoável supor que, se existe uma característica dos seres vivos que mais contribui para a sobrevivência da espécie e, portanto, para um maior sucesso obtido pela espécie, é a fecundidade.

Julgando a partir de nosso próprio ponto de vista, habituamo-nos a crer que a inteligência é o objetivo final para o qual se encaminha a evolução. Contudo, é ainda questionável se a inteligência às custas da fecundidade inevitavelmente vence a longo prazo. Os seres humanos virtualmente destruíram muitas das espécies grandes não particularmente fecundas; e ainda não marcaram nem um tento em relação à população de ratos.

Outra propriedade de grande valor para a sobrevivência é a capacidade de adaptar-se a uma grande variedade de alimentos. Comer um e apenas um tipo específico de dieta possibilita ao animal desenvolver um sistema digestivo e um metabolismo altamente sofisticados. O animal não sofre qualquer problema nutricional — desde que o suprimento de alimentação especializada seja abundante. Assim, o coala australiano, que come somente folhas de eucaliptos, se sente no paraíso em regiões ricas em eucaliptos. Onde não existem eucaliptos, não há coalas (exceto artificialmente, nos zoológicos). Se todos os eucaliptos desaparecessem, igual sorte caberia aos coalas — mesmo nos zoológicos.

Por seu lado, um animal com uma dieta variada suporta bem os infortúnios. A perda de um item prazeroso significa ter que se contentar com menos prazer, mas pode-se muito bem sobreviver sem ele. Uma das razões pelas quais a espécie humana evoluiu mais que as outras espécies primatas é que o *Homo sapiens é* onívoro (come praticamente de tudo), ao passo que os outros primatas são basicamente herbívoros (o gorila, por exemplo, é inteiramente herbívoro).

Infelizmente para nós, o rato também é onívoro e qualquer variedade alimentar que satisfaça aos seres humanos satisfará igualmente ao rato.

Conseqüentemente, aonde quer que o homem vá, o rato irá atrás. Se perguntássemos qual o mamífero que mais nos ameaça hoje, não poderíamos dizer ser o leão ou o elefante, de quem podemos dar cabo (mesmo a nível de toda a população de um e outro) a qualquer momento, se assim o desejarmos.

Não. Teríamos que dizer que é o rato norueguês.

Entretanto, se ratos são mais perigosos que leões e se, nesse sentido, estorninhos são mais perigosos que águias, o pior que se pode afirmar pela humanidade é que sua luta contra os pequenos mamíferos e os pássaros está, atualmente, num beco sem saída. Como outros organismos do mesmo tipo, eles incomodam e frustram e não podem, sem grandes esforços, ser mantidos em xeque. Entretanto, realmente não há perigo de destruírem a humanidade a menos que, antes, soframos um ataque repentino e mutilador de outra forma.

Mas há organismos mais perigosos que ratos ou quaisquer demais vertebrados. Se ratos, por seu pequeno tamanho e fecundidade, são difíceis de se vencer, que dizer de outros organismos ainda menores e mais fecundos? Os insetos, por exemplo?

De todos os organismos multicelulares, os insetos são certamente os mais bem-sucedidos, se considerados sob o prisma do número de espécies.

Os insetos têm vida tão curta e são tão fecundos que seu grau de evolução é simplesmente assombroso, e existem agora 700 000 espécies de insetos conhecidas — em comparação com as 200 000 espécies de animais de todos os outros tipos juntos.

Ademais, a lista de espécies de insetos está incompleta. A cada ano descobrem-se de 6 000 a 7 000 novas espécies de insetos, e é bem provável que existam pelo menos 3 milhões de espécies ao todo.

Quanto ao número de insetos em geral, é inacreditável. Num único acre de solo úmido pode haver até 4 milhões de insetos de centenas de espécies diversas. Pode haver 1 bilhão de bilhões de insetos vivendo no mundo agora; são cerca de 250 milhões deles para cada homem, mulher e criança vivos. O peso total de insetos vivos no planeta é superior ao peso total de todos os outros animais vivos juntos.

Quase todas as diferentes espécies de insetos são inofensivas ao homem. Umas 3 000, no máximo, dentre os possíveis 3 milhões, são estorvos. Estas incluem os insetos que vivem sobre nós, sobre nossa comida ou sobre outras coisas que valorizamos — moscas, pulgas, piolhos, vespas, vespões, gorgulhos, baratas, besouros, cupins e outros.

Alguns deles são mais que um estorvo. Na Índia, por exemplo, existe um inseto chamado "bicho-do-algodão-vermelho", que vive na planta de algodão. Anualmente, metade de toda a plantação de algodão indiana é destruída por eles. O gorgulho se alimenta da planta do algodão nos Estados Unidos. Conseguimos combater o gorgulho mais eficazmente do que os hindus combatem o bicho do algodão. No entanto, como resultado do estrago causado pelo gorgulho, cada libra do algodão produzido nos Estados Unidos custa dez *cents* a mais do que custaria se o gorgulho não existisse. Os prejuízos resultantes dos estragos causados por insetos em plantações e outras propriedades imóveis somente nos Estados Unidos perfazem algo como 8 bilhões de dólares por ano.

As armas tradicionais elaboradas pelos seres humanos em tempos primevos adequavam-se aos grandes animais mais temidos pelos homens.

Quanto menor o alvo, menos eficazes elas se tornam. Lanças e flechas, tão adequados contra veados, são de pouca utilidade contra coelhos ou ratos. E atirar uma lança ou uma flecha contra um gafanhoto ou um pernilongo é tão ridículo que, provavelmente, nenhum homem

mentalmente são já o fez.

A invenção de canhões e revólveres em nada contribuiu para esse problema. Nem armas nucleares podem extirpar os animais pequenos tão fácil e completamente quanto podem extirpar a própria humanidade.

Para começar, então, inimigos biológicos foram usados contra os pequenos animais. Cães, gatos e doninhas foram usados para caçar e destruir ratos e camundongos. Os pequenos carnívoros são mais capazes de perseguir os roedores onde quer que possam ir e, já que esses pequenos carnívoros executam a busca com o propósito único de comer, em vez de eliminar um estorvo, eles são muito mais ardentes e persistentes em sua perseguição do que os seres humanos.

Os gatos, especialmente, podem ter sido domados na era egípcia, não tanto por suas qualidades de companheirismo (que é tudo o que esperamos deles atualmente), mas por sua habilidade na caça aos pequenos roedores.

Por isso, os gatos se colocaram entre os egípcios e a destruição de seu suprimento de grãos. Tratava-se de manter os gatos ou morrer de fome — e não é de espantar que os egípcios tenham endeusado o gato e estabelecido a pena de morte para quem o matasse.

Existem também os inimigos biológicos dos insetos. Pássaros, mamíferos menores e répteis são excelentes consumidores de insetos.

Mesmo alguns insetos alimentam-se de outros insetos. Escolha o predador certo, a hora certa e as condições certas, e poderá ter muito bom êxito no controle de uma praga de insetos específicos.

Contudo, o uso de tal arsenal biológico não era algo com que as civilizações primitivas pudessem lidar, e o inseto equivalente ao gato demorou a ser encontrado. Aliás, até cerca de um século atrás, não se conhecia nenhum método útil de controle dos insetos — até que foram descobertos os pulverizadores de veneno.

Em 1877, compostos de cobre, chumbo e arsênio tornaram-se o método de combate ao inseto inimigo. Um veneno de insetos largamente usado era o verde-paris, que é um acetoarsenito de cobre. Funcionava razoavelmente e não afetava as plantas sobre as quais era pulverizado. As plantas se alimentavam de materiais inorgânicos do ar e do solo, e eram fortalecidas por energia solar. Vestígios de cristais minerais em suas folhas não atrapalhavam. Qualquer inseto que tentasse comer as folhas, porém, seria imediatamente morto.

Esses "inseticidas" minerais têm também suas desvantagens[46]. Em primeiro lugar, eles são nocivos a outras formas de vida animal — e, portanto, para a vida humana também. Em segundo lugar, são bastante duradouros. A chuva tende a remover parte dos minerais e depositá-los no solo. Pouco a pouco, o solo acumula cobre, arsênio e outros elementos, que acabam alcançando as raízes das plantas. Dessa forma, afetam as plantas adversamente, e o solo vai gradualmente se envenenando. Além do mais, esses minerais não podem ser usados nos próprios seres humanos. São, portanto, ineficazes em relação aos insetos, que fazem dos homens suas vítimas.

Naturalmente, houve tentativas de se encontrarem produtos químicos que somente fizessem mal aos insetos e que não se acumulassem no solo. Em 1935, um químico suíço, Paul Müller

(1889-1965), começou a pesquisar tal produto. Ele queria um produto que pudesse ser feito sem muita despesa, não tivesse odor e fosse inofensivo à vida dos não-insetos. Investigou dentre compostos orgânicos — compostos carbônicos parecidos com os encontrados em tecidos vivos —, esperando achar um que não fosse tão duradouro no solo quanto os compostos minerais. Em setembro de 1939, Müller deparou-se com o “diclorodifeniltricloroetano”, mais conhecido por sua abreviação, DDT. Este composto já tinha sido preparado e descrito em 1874, mas durante 65 anos suas propriedades de inseticida tinham permanecido desconhecidas.

Vários outros pesticidas orgânicos foram descobertos, e a guerra dos homens contra os insetos deu uma virada bastante favorável para o lado dos primeiros.

Mas não total. Ainda se tinha que ajustar contas com a força da modificação evolutiva dos insetos. Se os inseticidas falharam no extermínio de todos os insetos (porque alguns tantos eram resistentes ao DDT OU a outros produtos similares), os sobreviventes rapidamente se multiplicavam em proles ainda mais resistentes. Se os mesmos inseticidas tinham exterminado competidores ou predadores de insetos até mais eficazmente, a nova e resistente descendência do inseto originalmente atacado poderia, por certo tempo, desenvolver-se além dos números existentes anteriormente ao início da utilização dos inseticidas. Para controlá-los, a concentração de inseticida tinha que ser aumentada, e novos inseticidas surgiram.

À medida em que os inseticidas passaram a ser usados em maior escala, mais indiscriminadamente e com crescentes concentrações, outras desvantagens vieram à luz. Os inseticidas poderiam ser relativamente inócuos a outras formas de vida — só relativamente. Eles não eram facilmente destmtíveis dentro do corpo dos animais, e os animais que se alimentavam de plantas tratadas com inseticida armazenavam os produtos químicos em seus depósitos de gordura, transmitindo-os aos outros animais que os comiam. Os inseticidas armazenados podiam causar danos.

Exemplificando; eles desarranjavam o mecanismo de formação da casca do ovo de alguns pássaros, reduzindo drasticamente o coeficiente de natalidade.

A bióloga americana Rachel Louise Carson (1907-64) publicou, em 1962, *Silent Spring,* um livro que enfatiza realisticamente os riscos do uso indiscriminado de pesticidas orgânicos. Desde então, novos métodos vêm sendo desenvolvidos: pesticidas de menor teor tóxico, utilização de inimigos biológicos, esterilização dos machos por radiações radioativas, utilização de hormônios de insetos para evitar sua fertilização ou maturação.

No geral, a luta contra os insetos vai indo bastante bem. Não há sinais de que os seres humanos estejam vencendo no sentido de as pragas de insetos serem permanentemente extintas, mas também não estamos perdendo. Como no caso dos ratos, a guerra está num beco sem saída, porém não há sinais de que a humanidade deverá sofrer uma infeliz derrota. A menos que a espécie humana seja gravemente enfraquecida por outros motivos, é improvável que os insetos que estamos combatendo venham a nos destruir.

DOENÇAS INFECCIOSAS

Muito mais perigosa que o efeito de pragas de pequenos e fecundos organismos sobre os seres humanos, seus alimentos e suas posses, é sua tendência de difundir algumas formas de doenças infecciosas[47].

Todo organismo vivo é sujeito a doenças de diversos tipos (define-se doença em seu sentido mais lato: qualquer má função ou alteração da fisiologia ou bioquímica que interrompa o funcionamento normal do organismo). Por fim, o efeito cumulativo de más funções, disfunções e pseudofunções, mesmo que muitas curas e correções tenham sido feitas, produz danos irreversíveis — chamamos a isso "velhice" — e, mesmo com todo o cuidado do mundo, traz a inevitável morte.

Existem algumas árvores que podem viver 5 000 anos; alguns animais de sangue frio vivem até duzentos anos; alguns animais de sangue quente podem atingir a idade de cem anos; mas, para cada indivíduo multicelular, a morte chega como o fim.

Esta é uma parte essencial do funcionamento bem sucedido da vida.

Novos indivíduos constantemente vêm à existência com novas combinações de cromossomos e genes, e com genes mutantes também. Estes representam novas tentativas, digamos assim, de adequar o organismo ao ambiente. Sem a contínua chegada de novos organismos, que não são meras cópias dos velhos, a evolução cessaria. Naturalmente, os novos organismos não podem desempenhar seus papéis adequadamente a menos que os velhos sejam tirados de cena após terem desempenhado sua função de produzir os novos.

Em resumo, a morte do indivíduo é essencial para a vida da espécie.

É necessário, contudo, que o indivíduo não morra antes de a nova geração ser produzida; pelo menos, não com freqüência tal que ameace a população de minguar até a extinção.

A espécie humana não pode ter a relativa imunidade para o mal da morte individual possuído pelas espécies pequenas e fecundas. Os seres humanos são comparativamente grandes, têm vidas relativamente longas e são lentos na reprodução; assim, a morte muito rápida de um indivíduo já traz em si o espectro da catástrofe. A rápida morte de altíssimo número de seres humanos por doença pode marcar seriamente a população humana. Se levada ao extremo, não é difícil imaginá-la eliminando a espécie humana.

Mais perigosa, neste sentido, é aquela classe de má função denominada "doença infecciosa". Existem muitas enfermidades que, por uma ou outra razão, afetam um ser humano em particular e podem até matá-lo, ou a ela, mas que, em si, não oferecerão perigo para a espécie, porque estão estritamente confinadas ao indivíduo sofredor. Onde, no entanto, existe a possibilidade de uma doença, de algum modo, transferir-se de um ser humano para outro, e onde sua ocorrência num único indivíduo pode levar à morte de, não um, mas milhões de outros também, aí está a possibilidade da catástrofe.

E, na verdade, nos tempos históricos, as doenças infecciosas já chegaram mais perto de abater a espécie humana do que as depredações de quaisquer animais. Embora as doenças infecciosas, mesmo no mais alto grau, nunca tenham chegado a realmente pôr um fim aos seres humanos como uma espécie viva (obviamente), elas podem *abalar* gravemente uma civilização e mudar o curso da história. E, de fato, já o fizeram, não uma, mas muitas vezes.

Mais importante ainda: a situação talvez tenha piorado com o advento da civilização. Civilização tem significado o desenvolvimento e o crescimento de cidades e o alojamento de multidões em áreas restritas. Assim como o fogo pode se espalhar muito mais rapidamente numa floresta densa do que em um só agrupamento de árvores, também as doenças infecciosas se propagam mais rapidamente em áreas densamente povoadas que em comunidades esparsas.

Mencionemos alguns casos notórios na história.

Em 431 a.C, Atenas e seus aliados foram à guerra contra Esparta e seus aliados. Essa foi uma guerra que durou 27 anos e que arruinou Atenas e, em grande parte, toda a Grécia. Como Esparta dominava a terra, a população atateniense inteira se comprimiu na cidade murada de Atenas. Lá o povo estava seguro e podia se abastecer por via marítima, pois o mar era controlado pela marinha ateniense. Atenas poderia muito bem ter vencido a guerra em pouco tempo e a Grécia, evitado a ruína, se não fosse a doença.

Em 430 a.C, uma peste infecciosa abateu-se sobre a população ateniense enclausurada e matou 20 por cento dela, inclusive seu líder carismático, Péricles. Atenas persistiu na luta, mas jamais recobrou a totalidade de seus habitantes ou sua força e, finalmente, perdeu.

As pestes muito freqüentemente começavam no leste e sudeste da Ásia, onde a população era a mais concentrada do mundo, e se espalhavam rumo a oeste. Em 166 d.C, quando o Império Romano estava em seu apogeu de força e civilização sob o dedicado imperador-filósofo Marco Aurélio, os exércitos romanos que lutavam nas fronteiras orientais da Ásia Menor começaram a sofrer de uma doença epidêmica (provavelmente a varíola).

Trouxeram-na consigo quando de sua volta a Roma e às outras províncias.

No pico da epidemia, 2 000 pessoas morriam na cidade de Roma a cada dia.

A população começou a minguar e não atingiu os números de antes da epidemia até o século XX. Muitos fatores terão contribuído para o longo e lento declínio de Roma, após o reinado de Marco Aurélio, mas o efeito enfraquecedor da peste de 166 desempenhou a sua parte.

Mesmo após as províncias ocidentais do império terem sido assoladas pelas invasões de tribos germânicas e a própria Roma ter sido arrasada, a metade oriental do Império Romano continuou a existir, com sua capital em Constantinopla. Sob o poderoso Imperador Justiniano I, que chegou ao trono em 527, a África, a Itália e partes da Espanha foram retomadas e, por certo tempo, tinhase a impressão de que o império seria reconstituído. Em 541, contudo, a peste bubônica atacou. Esta era uma enfermidade que atingia ratos, basicamente, mas que podia ser transmitida ao homem por pulgas que picavam um rato doente e depois um ser humano saudável. A peste bubônica era de ação rápida e, geralmente, fatal. Ela pode inclusive ter sido acompanhada de uma variedade mais letal, a peste pneumônica, que passa direto de uma pessoa para outra.

Durante dois anos a peste reinou, e entre um terço e metade da população da cidade de Constantinopla morreu, além de muitos que habitavam a região rural da cidade. Não mais restavam esperanças de unir o império novamente, e a porção oriental — que veio a ser conhecida como o Império Bizantino — continuou a declinar daí em diante (com ocasionais revigoramentos).

A pior das epidemias da história da espécie humana ocorreu no século XIV. Por volta de

1330, uma nova variedade da peste bubônica (particularmente fatal) apareceu na Ásia central. Os habitantes da região começaram a morrer e a peste foi aumentando inexoravelmente seu raio de ação.

E acabou por alcançar o mar Negro. Na península da Criméia, salientando-se pela costa centro-norte daquele mar, havia um porto chamado Kaffa, onde a cidade italiana de Gênova estabelecera um entreposto comercial. Em outubro de 1347, um navio genovês por pouco não conseguia fazer a viagem de volta de Kaffa a Gênova. Os poucos homens a bordo que não tinham morrido da peste estavam morrendo. Eles foram desembarcados, trazendo para a Europa a peste, que rapidamente passou a se propagar.

Às vezes alguém pegava só uma forma benigna da doença; o mais comum, porém, era ela aniquilar totalmente o indivíduo. Neste último caso, o paciente quase sempre morria dentro de um. a três dias após o surgimento dos primeiros sintomas. Como os estágios finais eram marcados por manchas hemorrágicas que ficavam pretas, a doença foi batizada de "peste negra".

A peste negra alastrou-se desenfreadamente. Estima-se que cerca de 25 milhões de pessoas na Europa e muito mais que isso na África e Ásia tenham sido vitimadas antes que a peste desaparecesse. Ela pode ter matado um terço de toda a população humana mundial, talvez 60 milhões de pessoas ao todo (ou até mais). Não sabemos de nada que, antes ou depois, tenha dizimado uma porcentagem tão larga de população como a peste negra.

Não é de se espantar que ela tenha inspirado um terror tão abjeto entre a população. Todos viviam em pânico. Um súbito ataque de tremedeira ou vertigem, uma simples dor de cabeça, poderiam significar que a morte se apossara daquele indivíduo e que não lhe restavam mais de umas 24 horas até que morresse. Cidades inteiras foram devastadas, com os primeiros a morrer jazendo desenterrados, enquanto os sobreviventes fugiam para espalhar a doença. Fazendas foram abandonadas; animais domésticos vagavam à solta sem que ninguém olhasse por eles. Nações inteiras — como Aragão, por exemplo, que é hoje a porção oriental da Espanha — foram atingidas tão severamente que jamais chegaram a se recuperar por completo.

As bebidas alcoólicas já tinham surgido na Itália em 1100. Agora, dois séculos mais tarde, elas se popularizavam. A teoria era a de que beber muito agia como um preventivo contra o contágio. Não agia, mas tornava o bebedor menos preocupado, o que, naquelas circunstâncias, já era alguma coisa. O alcoolismo se instalou na Europa e lá permaneceu mesmo após a peste ter desaparecido; na verdade, até hoje.

A peste também atrapalhou a economia feudal, reduzindo drasticamente a mão-de-obra. Isso contribuiu para a queda do feudalismo tanto quanto a invenção da pólvora[48].

Desde então, houve outras grandes epidemias, embora nenhuma se comparasse à peste negra em terror e destruição. Em 1664 e 1665, a peste bubônica atingiu Londres e vitimou 75 000 pessoas.

A cólera, que sempre ferveu abaixo da superfície na índia (onde é "endêmica"), ocasionalmente brotava de repente e se espalhava numa "epidemia". A Europa foi assolada por epidemias de cólera fatal em 1831, e, novamente, em 1848 e 1853. A febre amarela,

doença tropical, era transmitida pelos marinheiros para portos mais ao norte, e periodicamente cidades americanas eram dizimadas por ela. Até em 1905, houve ainda uma séria epidemia de febre amarela em Nova Orleans.

A mais grave epidemia desde a peste negra foi a "gripe espanhola", que assolou o mundo em 1918 e, num ano, deu cabo de 30 milhões de vidas humanas em todo o globo (600 000 delas nos Estados Unidos). Em comparação, quatro anos da Primeira Guerra Mundial, logo antes de 1918, tinham matado 8 milhões. Todavia, a gripe epidêmica matou menos de 2 por cento da população mundial; portanto, a peste negra continua sem rival.

É claro que doenças infecciosas podem atingir outras espécies que não o *Homo sapiens,* às vezes, até com maior grau de devastação. Em 1904, as castanheiras do Jardim Zoológico de Nova York adquiriram a "ferrugem das castanheiras" e em duas décadas praticamente todas as castanheiras dos Estados Unidos e do Canadá estavam perdidas. Aí, a doença do olmo holandês alcançou Nova York em 1930 e se alastrou furiosamente. Ela está sendo combatida com todos os recursos conhecidos da ciência botânica moderna; os olmos, porém, continuam a morrer; quantos conseguirão ser salvos é ainda uma questão em aberto.

Às vezes, os seres humanos podem fazer uso de doenças animais como uma forma de pesticida. O coelho foi introduzido na Austrália em 1859 e, na ausência de inimigos naturais, multiplicou-se irrefreavelmente. Em cinqüenta anos, ele tinha se espalhado em cada parte do continente e nada que os homens fizessem parecia conseguir deter aquele crescimento desenfreado. Então, na década de 50, deliberadamente introduziu-se uma doença de coelhos chamada "mixomatose infecciosa", que era endêmica entre coelhos na América do Sul. Essa era altamente contagiosa e fatal para os coelhos australianos, que jamais tinham sido expostos a ela. Quase imediatamente, os coelhos estavam morrendo aos milhões. Não foram totalmente extintos, é claro, e os sobreviventes são cada vez mais resistentes à doença, mas mesmo agora a população de coelhos da Austrália está bem abaixo de seu máximo.

Enfermidades vegetais c animais poderiam afetar a economia humana direta e desastrosamente. Em 1872, uma epidemia atacou os cavalos dos Estados Unidos. Não havia cura para ela. Ninguém, na época, percebeu que ela fora disseminada por pernilongos e, antes de ela desaparecer, um quarto de todos os cavalos americanos estavam mortos. Isso não representou apenas uma grave perda material; naquele tempo, os cavalos eram uma importante força de trabalho. A agricultura e a indústria sofreram um sério abalo, e a epidemia ajudou a provocar uma grave depressão.

Mais de uma vez colheitas foram arruinadas e calamidades se instalaram por causa de doenças infecciosas. A "ferrugem tardia" destruiu a plantação de batatas da Irlanda, em 1845, e um terço da população da ilha morreu de fome ou emigrou. Até hoje, a Irlanda não recuperou seus habitantes famintos evadidos. No que diz respeito a esse assunto, em 1846, a mesma enfermidade destruiu metade da plantação de tomates do leste dos Estados Unidos.

As doenças infecciosas evidentemente são mais perigosas à existência humana do que qualquer animal poderia ser. Teríamos bastante razão em nos perguntarmos se elas não poderiam produzir uma catástrofe final antes de as geleiras começarem a invadir o planeta novamente, e com certeza antes de o Sol dar um passo que seja em direção ao estágio de gigante vermelha.

O que se interpõe entre tal catástrofe e nós é o novo conhecimento que adquirimos no último século e meio sobre as causas das doenças infecciosas e os métodos para combatê-las.

MICRORGANISMOS

Durante a maior parte da história, não existiram quaisquer defesas contra as doenças infecciosas. Na verdade, o próprio fato da infecção não foi reconhecido nas idades antiga e medieval. Quando as pessoas começavam a morrer em grande número, costumava se dizer que um deus irado estava se vingando por uma ou outra razão. As flechas de Apoio estavam voando, de modo que uma morte não era responsável por outra; Apoio é que era responsável por todas elas.

A Bíblia fala de numerosas epidemias e, em cada caso, é a ira de Deus inflamada contra os pecadores, como em Samuel 2: 24. Nos tempos do Novo Testamento, a teoria da possessão demoníaca como explicação das enfermidades era bem popular, e tanto Jesus como outros expulsavam demônios. A autoridade bíblica fez com que essa teoria persistisse até hoje, como é provado pelo sucesso popular de filmes como O *exorcista.*

Na medida em que as doenças eram culpa de influências divinas ou demoníacas, algo tão mundano como o contágio era negligenciado.

Felizmente, a Bíblia também contém instruções para o isolamento daqueles com lepra (nome dado não só à própria lepra, como a outras condições epidérmicas menos graves). A prática bíblica do isolamento tinha razões mais religiosas que higiênicas, porque a lepra tem índice contagioso muito baixo. Sob a autoridade bíblica, os leprosos eram isolados na Idade Média, ao passo que aqueles com moléstias realmente infecciosas não o eram. A prática do isolamento, todavia, levou alguns médicos a pensá-la nos termos da doença em geral. Em particular, o terror supremo da peste negra ajudou a difundir a noção da quarentena, nome originalmente inspirado no isolamento de quarenta dias.

O fato de que o isolamento realmente reduzia a propagação de uma doença fez pensar no contágio como um fator importante dela. O primeiro a elaborar essa hipótese detalhadamente foi o médico italiano Girolamo Fracastoro (1478-1553). Em 1546, ele sugeriu que as doenças podiam se transmitir por contato direto de uma pessoa sadia com uma doente, ou por contato indireto de uma pessoa sadia com pertences infectados, ou mesmo à distância. Ele cria que corpos minúsculos, pequenos demais para serem vistos, passavam de uma pessoa doente para uma saudável e que os corpos minúsculos tinham o poder de automultiplicação.

Apesar de uma perspicácia admirável, Fracastoro não tinha provas para apoiar sua teoria. Se era cabível aceitar corpúsculos invisíveis pulando de um corpo para outro — e fazê-lo na base da crença, unicamente —, o mesmo seria aceitar demônios invisíveis.

Os corpúsculos, no entanto, não permaneceram invisíveis. Já no tempo de Fracastoro, o uso de lentes para ajudar a visão era fato bem firmado. Por volta de 1608, combinações de lentes foram usadas para ampliar objetos à distância e o telescópio veio a existir. Não se necessitou

modificar grandemente as lentes para ampliar objetos minúsculos. O fisiólogo italiano Marcello Malpighi (1628-94) foi o primeiro a utilizar um microscópio para importantes trabalhos, relatando suas observações na década de 1650.

O microscopista holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) laboriosamente esmerilhou pequenas mas excelentes lentes, que lhe deram uma visão do mundo de minúsculos objetos melhor que qualquer outra pessoa de sua época já tinha tido. Em 1677, ele colocou água estagnada no foco de uma de suas pequenas lentes e descobriu organismos vivos excessivamente pequenos para serem vistos a olho nu, mas tão verdadeiramente vivos quanto uma baleia ou um elefante — ou um ser humano. Eles eram os animais unicelulares que agora chamamos de "protozoários".

Em 1683, Van Leeuwenhoek detectou estruturas ainda menores que os protozoários. Elas estavam no limite de visibilidade mesmo com suas melhores lentes; a partir dos esboços do que viu, porém, fica claro que ele tinha descoberto as bactérias, as menores criaturas celulares existentes.

Para conseguir mais do que Van Leeuwenhoek, tinhase que possuir microscópios muitíssimo superiores ao dele, e levaria muito tempo para que se desenvolvessem tais microscópios. O seguinte microscopista a descrever bactérias foi o biólogo dinamarquês Otto Friedrich Müller (1730-84), que as descreveu num livro sobre esse assunto publicado postumamente em 1786.

Numa compreensão tardia, parece que se poderia ter adivinhado que as bactérias representavam os agentes infecciosos de Fracastoro, porém não havia provas disso, e até as observações de Müller eram tão incertas que nem havia consenso geral sobre a existência das bactérias ou, se existiam, de sua condição viva.

Em 1830, o óptico inglês Joseph Jackson Lister (1786-1869) desenvolveu um microscópio acromático. Até então, as lentes usadas refratavam a luz em arco-íris, de modo que objetos minúsculos eram mostrados como que listrados de cores e, assim, não claramente vistos. Lister combinou lentes de diferentes tipos de vidro de tal forma a remover as cores.

Sem a interferência das cores, os objetos minúsculos sobressaíam agudamente e, na década de 1860, o botânico alemão Ferdinand Julius Cohn (1828-98) viu e descreveu as bactérias com sucesso finalmente convincente.

Foi só com o trabalho de Cohn que a ciência da bacteriologia foi fundada e que se chegou ao consenso geral de que as bactérias existiam.

Entrementes, mesmo sem uma indicação precisa da existência dos agentes de Fracastoro, alguns médicos estavam descobrindo métodos de reduzir o efeito da infecção.

O médico húngaro Ignaz Philipp Semmelweiss (1818-65) insistia em que a febre do puerpério — que matava tantas mães após o parto — era transmitida pelos próprios médicos, já que eles iam das autópsias diretamente para trabalhos de parto. Ele lutou para convencer os médicos a lavar as mãos antes de assistirem às mulheres; tendo conseguido isso, em 1847, a incidência de febre do puerpério caiu sensivelmente. Os médicos, insultados e orgulhosos de sua sujeira profissional, se revoltaram com isso e finalmente voltaram a fazer o serviço com mãos sujas. A incidência de febre do puerpério elevou-se tão rapidamente como caíra — mas isso não incomodou os médicos.

O momento crucial veio com o trabalho do químico francês Louis Pasteur (1822-95). Embora fosse químico, seu trabalho o levara gradualmente em direção aos microscópios e microrganismos e, em 1865, ele se dedicou ao estudo de uma doença do bicho-da-seda que estava destruindo a indústria da seda francesa. Usando seu microscópio, descobriu um minúsculo parasito que infestava os bichos-da-seda e as folhas de amora com que eram alimentados. A solução de Pasteur foi drástica, mas racional. Todos os bichos e comida infestados deveriam ser destruídos. Tudo deveria começar de novo com bichos saudáveis, e a doença seria sanada. Seu conselho foi seguido e deu certo. A indústria da seda foi salva.

Isso desviou o interesse de Pasteur para as doenças infecciosas.

Parecia a ele que se a doença do bicho-da-seda era produto de parasitos microscópicos, outras doenças também poderiam sê-lo; assim, nasceu a “teoria dos germes de doenças”. Os agentes infecciosos invisíveis de Fracastoro eram microrganismos, geralmente as bactérias que Cohn estava tentando trazer à luz.

Agora era possível atacar as doenças infecciosas racionalmente, fazendo uso de uma técnica que tinha sido introduzida na medicina há mais de meio século. Em 1798, o médico inglês Edward Jenner (1749-1823) havia demonstrado que pessoas inoculadas com a variedade moderada da varíola bovina, ou *vaccinia,* em latim, adquiriam imunidade não só contra a própria varíola bovina, como também contra a correlata mas muito virulenta e temida doença da varíola. A técnica da “vacinação” virtualmente deu fim à maior parte da devastação provocada pela varíola.

Infelizmente, não se descobriram outras doenças que ocorressem em pares tão convenientes, com o tipo moderado conferindo imunidade para o tipo grave. Mesmo assim, com a noção da teoria dos germes, a técnica podia ser ampliada de outra maneira.

Pasteur descobriu e associou determinados germes a determinadas doenças, passando então a enfraquecer esses germes (por meio de exposição a altas temperaturas ou de outras maneiras) e usá-los para inoculação.

Alguma doença muito moderada era produzida, mas a imunidade contra a doença perigosa era assegurada. A primeira enfermidade a ser tratada dessa forma foi o fatal carbúnculo hematíco, que assolava rebanhos de animais domésticos.

Trabalho semelhante foi efetuado com mais sucesso ainda pelo bacteriologista alemão Robert Koch (1843-1910). Antitoxínas utilizadas para neutralizar venenos bacteriológicos foram também desenvolvidas.

Enquanto isso, o cirurgião inglês Joseph Lister (1827-1912), filho do inventor do microscópio acromático, retomara o trabalho de Semmelweiss.

Uma vez sabedor das pesquisas de Pasteur, tinha uma convincente racionalização como desculpa, e começou a insistir em que, antes de operar, os cirurgiões deveriam lavar as mãos em soluções de produtos químicos conhecidos por matarem bactérias. A partir de 1867, a prática da “cirurgia anti-séptica” rapidamente se difundiu.

A teoria dos germes também acelerou a adoção de medidas preventivas racionais (higiene pessoal, como o lavar mãos e tomar banho; planejada eliminação do lixo; cuidados com a limpeza da comida e da água).

Líderes nesse tempo foram os cientistas alemães Max Joseph von Pettenkofer (1818-1901) e Rudolph Virchow (1821-1902). Eles mesmos não acreditavam na teoria dos germes como causadores de doenças; suas recomendações, porém, não teriam sido seguidas tão prontamente se não fosse pelo fato de outros nela acreditarem.

E mais: descobriu-se que doenças como a febre amarela e a malária eram transmitidas por mosquitos; a febre tifóide, por piolhos; a febre das montanhas Rochosas, por carrapatos; a peste bubônica, por pulgas, e assim por diante. Medidas contra esses pequenos organismos transmissores de germes conseguiam reduzir a incidência das enfermidades. Homens como os americanos Walter Reed (1851-1902) e Howard Taylor Ricketts (1871-1910) e o francês Charles J. Nicolle (1866-1936) estavam envolvidos nessas descobertas.

O bacteriologista alemão Paul Ehrlich (1854-1915) foi o pioneiro no uso de produtos químicos específicos que dariam cabo de certas bactérias sem matar o ser humano dentro de quem elas viviam. Sua mais bem-sucedida descoberta deu-se em 1910, quando encontrou um composto de arsênio que era ativo contra a bactéria que causava a sífilis.

Esse tipo de trabalho culminou com a descoberta do efeito bacteriológico de compostos de sulfanilamida e outros análogos, iniciada com o trabalho do bioquímico alemão Gerhard Domagk (1895-1964), em 1935, e dos antibióticos, iniciada com o trabalho do microbiólogo franco-amerícano René Jules Dubos (1901-), em 1939.

Em 1955 (já tardiamente!), veio a vitória sobre a poliomielite, graças a uma vacina preparada pelo microbiólogo americano Jonas Edward Salk (1914-).

E mesmo assim a vitória não é total e geral. Exatamente agora, a antes terrivelmente fatal moléstia da varíola parece ter desaparecido. Pelo que se sabe, não existe um só caso em todo o mundo. Entretanto, existem doenças infecciosas, como algumas encontradas na África, que são muito contagiosas, virtualmente 100 por cento fatais, e para as quais não há cura.

Medidas higiênicas cuidadosas têm possibilitado o estudo de tais doenças sem sua propagação — e não há sombra de dúvidas de que contramedidas eficazes serão elaboradas.

NOVAS DOENÇAS

Poderia parecer, pois, que, enquanto nossa civilização sobreviver e nossa tecnologia médica não for prejudicada, não mais restarão riscos de as doenças infecciosas produzirem catástrofes ou mesmo desgraças como a peste negra e a gripe espanhola. Todavia, antigas moléstias conhecidas carregam consigo a potencialidade de originar novas formas.

O corpo humano (e todos os organismos vivos) tem defesas naturais contra a invasão de organismos estranhos. Anticorpos são produzidos na corrente sangüínea para neutralizar toxinas ou os próprios microrganismos.

Os glóbulos brancos na corrente sangüínea atacam fisicamente as bactérias.

Os processos evolutivos geralmente fazem a luta equilibrar-se. Os organismos mais eficazes

na autoproteção contra os microrganismos tendem a sobreviver e passar essa capacidade para suas proles. No entanto, os microrganismos são muitíssimo menores e mais fecundos até do que os insetos. Desenvolvem-se muito mais rapidamente, sendo que indivíduos têm mínima importância no cômputo geral.

Considerando os incontáveis números de microrganismos de qualquer dada espécie que continuamente se multiplicam por divisão celular, grandes números de mutações precisam ser produzidos com o mesmo ritmo.

Ocasionalmente, uma dessas mutações pode agir de modo a originar uma doença específica muito mais infecciosa e fatal. Além disso, pode alterar suficientemente a natureza química do microrganismo, de forma a que os anticorpos produzidos pelo organismo hospedeiro percam sua utilidade. O resultado é o súbito e violento assalto de uma epidemia. A peste negra sem dúvida foi originada por uma raça mutante do microrganismo que a causou.

Posteriormente, porém, os seres humanos mais suscetíveis morrem, e os relativamente resistentes sobrevivem, de modo que a virulência das moléstias começa a ceder. Nesse caso, a vitória humana sobre o microrganismo patogênico é permanente? Será que novas raças de germes não poderiam surgir? Poderiam, e surgem. De tempos em tempos, uma nova variedade de gripe surge para nos importunar. É possível, todavia, produzir vacinas contra cada nova variedade logo após seu aparecimento. Assim, quando um único caso da “gripe suína” apareceu em 1976, um programa de vacinação em massa foi posto em ação a todo o vapor. No fim, tal medida nem teria sido necessária, mas mostrou o que poderia ser feito.

É claro que a evolução também funciona na direção oposta. O uso indiscriminado de antibióticos tende a eliminar os microrganismos mais fortes, enquanto os relativamente resistentes podem escapar. Estes se multiplicam, e uma raça resistente e impossível de ser controlada pelos anticorpos surge. Assim, é como se estivéssemos criando novas doenças no próprio ato de estancar as antigas. No entanto, os seres humanos podem contra-atacar usando maiores doses de velhos antibióticos ou novos em doses normais.

Ter-se-ia a impressão de que pelo menos podemos nos agüentar em pé, o que significa que estamos bem à frente do jogo se considerarmos a situação de duzentos anos atrás. Entretanto, será possível que os seres humanos possam ser atingidos por uma doença tão estranha e fatal que não possibilite qualquer defesa, causando a extinção humana? Particularmente, qual a probabilidade de uma “peste espacial” se nos apresentar como foi postulado no famoso romance de Michael Crichton, *O enigma de Andrômeda?*

Prudentemente, a NASA leva isso em conta. Sempre tomam o cuidado de esterilizar os objetos que enviam para outros planetas, para minimizar a possibilidade de espalhar em solo estranho microrganismos terrestres, prejudicando, assim, o possível estudo de microrganismos nativos do planeta visitado. E também põem os astronautas em quarentena após seu retorno da Lua, até certificarem-se de que não pegaram nenhuma infecção lunar.

Mas isso parece ser uma precaução desnecessária. Na realidade, a probabilidade de haver vida, mesmo microrganísmica, em qualquer outro lugar do sistema solar parece pequena e, a cada novo dado obtido por investigações dos corpos celestes, parece diminuir ainda mais. Mas que dizer da vida fora do sistema solar? Aqui está uma outra invasão do espaço interestelar que ainda não foi discutida: a chegada de formas estranhas de vida microscópica.

O primeiro a examinar essa possibilidade com objetividade científica foi o químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1927). Ele estava interessado no problema da origem da vida. Sua idéia era a de que a vida bem que podia estar presente em partes diversas do universo e se podia espalhar como que por infecção.

Em 1908, ele sugeriu que esporos bacterianos poderiam ser levados para a camada mais alta da atmosfera pelos ventos errantes e que alguns também poderiam escapar da Terra, de modo que esta (e, presumivelmente, qualquer outro planeta-berço da vida) deixaria em seu rastro uma aspersão de esporos geradores de vida. Isso é denominado "panspermia".

Os esporos, segundo Arrhenius, poderiam suportar o frio e a ausência de ar no espaço durante períodos muito longos. Eles seriam conduzidos para longe do Sol e fora do sistema solar por pressão de radiação (hoje, diríamos: pelo vento solar). E poderiam, algum dia, chegar a um outro planeta.

Arrhenius sugeriu que esses esporos poderiam ter atingido a Terra num tempo em que a vida ainda não se tinha formado aqui — que a vida terrestre era o resultado de chegada de tais esporos e que todos nós descendemos daqueles esporos[49].

Se é assim, a panspermía não pode estar funcionando também hoje?

Não haverá esporos ainda chegando aqui — talvez exatamente neste momento? Será que alguns deles não seriam capazes de dar origem a doenças? A peste negra não poderia ter sido produzida por esporos estranhos? Será que eles poderiam produzir uma peste negra pior amanhã?

Uma falha de muito peso nessa linha de argumentação, falha não apreensível em 1908, é de que, embora os esporos sejam insensíveis ao frio e ao vácuo, são muito sensíveis a radiações energéticas como as da luz ultravioleta. Eles provavelmente seriam destruídos pela radiação de sua própria estrela se liberados por algum planeta longínquo e, se sobrevivessem a isso de algum modo, seriam destruídos pelos raios ultravioleta de nosso Sol mesmo antes de se aproximarem o suficiente para penetrar na atmosfera terrestre.

Todavia, não existiriam alguns esporos que fossem relativamente resistentes ao ultravioleta ou que tivessem tido a sorte de escapar a eles? Se assim for, talvez não se precise postular planetas longínquos geradores de vida (porque não há provas disso, embora as probabilidades a favor pareçam enormes) como a fonte. Que dizer das nuvens de poeira e gases que existem no espaço interestelar e podem agora ser estudadas detalhadamente?

Na década de 30, reconheceu-se que o espaço ínterestelar continha uma finíssima aspersão de átomos elementares (predominantemente o hidrogênio) e que as nuvens interestelares de poeira e gases deviam ter uma aspersão algo mais espessa. Mas os astrônomos admitiram que, mesmo com a maior espessura, essas aspersões consistiam em átomos. A fim de se produzirem combinações de átomos, dois deles teriam que se chocar e não se considerava isso um evento possível.

Ademais, se as combinações de átomos fossem formadas, então, para serem detectadas, elas teriam que estar entre nós e uma estrela brilhante e absorver um pouco da luz daquela estrela num comprimento de onda característico cuja perda poderíamos detectar — e estar presentes em quantidade tal que a absorção seria suficientemente forte para ser detectada.

Isso também parecia improvável.

Em 1937, contudo, esses requisitos foram preenchidos, e uma combinação de carboidrogênio (CH, ou “radical metilideno”) e uma combinação de carbono e nitrogênio (CN, ou “radical cianogênio”) foram desenvolvidas.

Após a Segunda Guerra Mundial, entretanto, a radioastronomia foi desenvolvida, tornando-se um novo e poderoso instrumento para aquele propósito. Na variação de luz visível, determinadas combinações atômicas podiam ser detectadas apenas por sua característica absorção de luz estelar.

No entanto, átomos elementares pertencentes a essas combinações torcem-se, giram e vibram — e estes movimentos emitem ondas de rádio que podiam então ser detectadas com grande precisão. Cada diferente combinação atômica emitia ondas de rádio de comprimentos característicos, de que se tinha conhecimento através de experimentações em laboratório; dessa forma, a combinação atômica específica podia ser identificada sem margem de erro.

Em 1963, não menos de quatro comprimentos de onda de rádio, todos característicos da combinação de oxigênio e hidrogênio (H, ou “radical hidroxil”), foram detectados.

Até 1968, somente aquelas três combinações de dois átomos (CH, CN e OH) eram conhecidas — o que já era surpreendente. Ninguém concebia a existência de combinações de três átomos, já que era desejar demais (em termos de probabilidade) que dois átomos se chocassem e se unissem para, então, um terceiro átomo se chocar contra ambos.

Em 1968, contudo, a molécula de água, composta por três átomos (H_2O), foi detectada em nuvens interestelares por sua característica radiação de ondas de rádio, bem como a molécula de amônia (composta por quatro átomos, o NH). Desde então, a lista de produtos químicos conhecidos cresceu rapidamente, chegando-se a encontrar combinações de até sete átomos. O mais importante é que todas as combinações mais complexas envolvem o átomo do carbono, levantando a suspeita de que mesmo moléculas tão complexas como os aminoácidos protéicos possam existir no espaço, embora em quantidades pequenas demais para serem detectadas.

Se formos tão longe, será possível que formas bem simples de vida se desenvolvam nessas nuvens interestelares? Aqui *nem* temos que nos preocupar com a luz ultravioleta, porque as estrelas podem estar muito longe e a poeira das nuvens pode, ela mesma, servir de escudo protetor.

Nesse caso, seria possível que a Terra, ao atravessar essas nuvens, pudesse apanhar alguns desses microrganismos (protegidos da radiação ultravioleta solar pelas partículas de poeira circundantes) e que estes pudessem produzir alguma doença completamente estranha a nós e contra a qual não teríamos como nos defender, de modo que terminaríamos todos por morrer?

O astrônomo Fred Hoyle chegou bem perto dessa resposta. Ele toma em consideração os cometas, que, sabidamente, contêm combinações de átomos bem parecidas com as das nuvens interestelares, e nos quais a matéria está muito mais densamente concentrada do que nas nuvens interestelares, e que, quando próximos do Sol, liberam uma extensa nuvem de poeira e gases que é direcionada para fora pelo vento solar numa longa cauda.

Os cometas estão muito mais perto da Terra do que as nuvens interestelares, e é muito mais provável que a Terra atravesse a cauda de um cometa do que uma nuvem interestelar. Em

1910, como já mencionado anteriormente, a Terra atravessou a cauda do cometa de Halley.

Uma cauda de cometa é tão fina e semelhante a um vácuo que lhe é impossível causar-nos grandes danos, como interferir na movimentação da Terra ou poluir sua atmosfera. Será que, no entanto, nós poderíamos apanhar alguns estranhos microrganismos, que, depois de se multiplicarem e talvez sofrerem mutações devidas ao novo ambiente, pudessem nos atacar com efeito letal?

Por exemplo, será que a gripe espanhola de 1918 nasceu da passagem pela cauda do cometa de Halley? Será que outras grandes epidemias foram produzidas dessa maneira?

Se assim for, será que uma nova passagem no futuro poderá produzir uma nova doença, mais fatal que qualquer outra, confrontando-nos com a catástrofe imprevisivelmente?

Na verdade, tudo isso parece altamente improvável. Mesmo que os compostos formados em nuvens interestelares ou em cometas sejam suficientemente complexos para serem vivos, quais as possibilidades de possuírem exatamente as qualidades necessárias para atacar os seres humanos (ou quaisquer outros organismos terrestres)?

Lembremo-nos de que somente uma minúscula fração de todos os microrganismos *é* patogênica e causa enfermidades. Dentre estes últimos, a maioria provoca doenças em apenas um organismo específico ou em um pequeno grupo de organismos, fora dos quais são totalmente inofensivos.

(Por exemplo, nenhum ser humano precisa temer a doença do olmo holandês — aliás, nem um carvalho precisa. E nem um olmo ou um carvalho precisam temer um resfriado.)

A realidade dos fatos é que, para um microrganismo ser capaz de causar doenças num hospedeiro específico, ele deve estar completamente adaptado a essa tarefa. Para um organismo estranho, formado por acaso nas profundezas do espaço interestelar ou num cometa, o fato de ser química e fisiologicamente adaptado ao bem-sucedido parasitismo num ser humano parece fora de questão.

E, mesmo assim, o perigo das doenças infecciosas em nova e inesperada forma não é inteiramente irreal. Teremos mais tarde outras ocasiões de retomar este assunto e considerá-lo sob um prisma totalmente diferente.

13 — O CONFLITO DA INTELIGÊNCIA

OUTRAS INTELIGÊNCIAS

No capítulo anterior, discutimos os perigos que outras formas de vida podem representar para a humanidade e concluímos que a posição do homem diante de outras formas de vida competidoras varia entre a vitória definitiva e o beco sem saída. E, mesmo quando nos defrontamos com um beco sem saída, já há uma tecnologia em desenvolvimento se preparando para encontrar o caminho que nos possa levar à vitória. Certamente, uma derrota da humanidade por qualquer espécie não-humana (enquanto a tecnologia preponderar, assegurando o não-debilitamento da civilização por fatores outros) pareceria totalmente improvável.

Entretanto, aquelas formas de vida descritas como sendo incapazes de exterminar a humanidade têm uma coisa em comum: não possuem o mesmo nível de inteligência do *Homo sapiens*.

Mesmo onde a vida não-humana vence parcialmente — como quando um exército de formigas dá cabo de uma pessoa ou quando uma linhagem de bacilos em multiplicação mata milhões de seres humanos —, o perigo é o resultado de algo que é um comportamento mais ou menos automático e inflexível por parte dos atacantes temporariamente vencedores. Dado um certo tempo para se recobrarem, os seres humanos como espécie podem projetar uma estratégia de contra-ataque; e, pelo menos até agora, os resultados de tais contra-ataques têm variado entre o extermínio do inimigo e, no mínimo, sua contenção. E pelo que podemos prever, a situação não é passível de inverter-se para pior no futuro.

Mas e se os organismos com que nos defrontássemos fossem tão ou mais inteligentes do que nós? Não estaríamos, nesse caso, em perigo de sermos destruídos? Sim; onde, porém, em toda a Terra, pode-se achar algo igual em inteligência?

Os animais mais inteligentes depois do ser humano — elefantes, ursos, cachorros e mesmo os chimpanzés e gorilas — simplesmente não se nos equiparam. Nenhum deles poderia nos ameaçar por um instante que fosse se a humanidade decidisse fazer uso impiedoso de sua tecnologia.

Se considerarmos o cérebro como o repositório físico da inteligência, então o cérebro humano, com uma massa média de 1,45 quilo na maioria dos dois sexos, é praticamente o maior que já existiu ou existe. Somente mamíferos gigantescos (elefantes e baleias) constituem exceção neste aspecto.

O maior cérebro de elefante pode ter uma massa de até 6 quilos, um pouco mais que quatro vezes a de um cérebro humano; o maior cérebro de baleia já encontrado pesava cerca de 9 quilos, mais de seis vezes o peso de um cérebro humano.

Esses grandes cérebros, contudo, têm um corpo muito maior para controlar. O maior cérebro de elefante pode ter quatro vezes o tamanho do cérebro humano, mas seu corpo é talvez cem vezes maior em massa que o humano. Se cada quilograma de cérebro humano deve comandar 50 quilos de corpo humano, cada quilo de cérebro de elefante precisa comandar 1.200 quilos de corpo de elefante. Nas baleias maiores, cada quilo de cérebro precisa coordenar pelo menos 10.000 quilos de corpo de baleia.

Sobra, assim, menos espaço nos cérebros do elefante e da baleia para a reflexão e o pensamento abstrato, uma vez que as necessidades de coordenação do corpo são subtraídas e, aparentemente, não há dúvida de que, a despeito do tamanho do cérebro, o ser humano é muitíssimo mais inteligente que o elefante asiático ou o cachalote.

Naturalmente, em certos grupos de organismos aparentados, a razão cérebro/corpo tende a aumentar com a diminuição do tamanho. Em alguns macacos pequenos, portanto (e em alguns beija-flores, nesse aspecto), a razão é tal que cada grama de cérebro precisa somente manejar 17,5 gramas de corpo. Aqui, contudo, os pesos absolutos são tão pequenos que o cérebro do macaco simplesmente não é grande o suficiente para possuir a complexidade necessária para a reflexão e o pensamento abstrato.

O ser humano, então, atinge a média ideal. Qualquer criatura com um cérebro bem maior que o nosso tem um corpo tão enorme que uma comparação entre ambas as inteligências é inconcebível. Por outro lado, qualquer criatura com um cérebro maior, em comparação com seu corpo, como no caso do ser humano, tem um cérebro tão pequeno em tamanho absoluto que ter uma inteligência comparável à nossa é impossível.

Isso nos põe sozinhos no ápice — ou quase. Entre as baleias e seus parentes, a razão cérebro/corpo também tende a aumentar com a diminuição do tamanho. Que pensar dos menores membros do grupo? Alguns golfinhos e botos não pesam mais que seres humanos e, no entanto, têm cérebros maiores que o cérebro humano. O cérebro do golfinho comum pode pesar até 1,7 quilo e é um sexto maior que o cérebro humano. E é também mais espiralado.

O golfinho pode, então, ser mais inteligente que o ser humano? Com certeza não se questiona o fato de o golfinho ser excessivamente inteligente para um animal. Ele aparentemente tem padrões de linguagem complexos, pode aprender a exibir-se em *shows* e claramente diverte-se com isso. A vida no mar, porém, a fim de assegurar a destreza de movimentos através de um meio viscoso, privou os golfinhos de órgãos equivalentes às mãos. Além disso, como a natureza da água do mar impede a coexistência com o fogo, os golfinhos foram privados de uma tecnologia reconhecível. Por ambas as razões, os golfinhos não podem demonstrar o alcance de sua inteligência em termos humanos práticos.

Pode ser, é claro, que os golfinhos possuam uma inteligência profundamente introspectiva e filosófica; se tivéssemos meios de compreender seu sistema de comunicação, poderíamos até descobrir que seu pensamento é mais admirável que o dos seres humanos. Isso, contudo, é irrelevante para o tema central deste livro. Sem o equivalente de mãos e tecnologia, os golfinhos não podem competir conosco ou ameaçar-nos. De fato, os seres humanos, se se decidissem a isso (e espero que nunca o façam), poderiam sem grandes esforços dar fim à família das baleias.

Será possível, todavia, que alguns animais, no futuro, venham a desenvolver uma inteligência

maior que a nossa e, então, nos destruir? Nem um pouco provável, enquanto a humanidade sobreviver e mantiver sua tecnologia. A evolução não se faz a passos largos, mas sim engatinha sem a menor pressa. Uma espécie só incrementará substancialmente sua inteligência num intervalo de 100 000 anos ou, mais provavelmente, de 1 milhão de anos. Haverá tempo mais que suficiente para os seres humanos (cada vez mais inteligentes, talvez) perceberem a mudança, e parece bem razoável supor-se que, se a humanidade previsse o aumento de inteligência de qualquer espécie como um crescente perigo, essa espécie seria exterminada[50]..

Mas isso traz à baila outro ponto. O competidor inteligente precisa ser da própria Terra? Já falei das possibilidades de chegada de diversos tipos de objetos do espaço além do sistema solar — estrelas, buracos negros, antimatéria, asteróides, nuvens de poeira e gás, até microrganismos. Resta mais uma espécie de chegada a se considerar (e a última). Que tal a chegada de seres inteligentes de outros mundos? Estes não poderiam representar inteligências superiores com uma tecnologia bem mais avançada que a nossa? E será que eles não poderiam nos exterminar tão facilmente como nós poderíamos exterminar chimpanzés, se assim o desejássemos? Uma coisa dessas certamente jamais aconteceu, mas será que não pode acontecer no futuro?

Isso é algo que não podemos desconsiderar por completo. Em meu livro *Extraterrestrial civilizations* (Crown, 1979), expus motivos para a suposição de que civilizações tecnológicas podem ter-se desenvolvido em até 390 milhões de planetas em nossa galáxia e que praticamente todas elas seriam mais avançadas tecnologicamente do que nós. Se assim fosse, a distância média entre essas civilizações seria de aproximadamente 40 anos-luz. Haveria, pois, uma boa probabilidade de estarmos a 40 anos-luz, ou até mais perto, de uma civilização mais avançada que a nossa. Estaremos em perigo?

A melhor razão para sentirmos que estamos a salvo baseia-se no fato de que tal invasão nunca se deu no passado, pelo que sabemos, e que, durante os 4,6 bilhões de anos de vida da Terra, nosso planeta foi sempre deixado em paz e sozinho. Se permanecemos intocados por tanto tempo no passado, parece razoável supor-se que assim continuaremos por bilhões de anos no futuro.

Naturalmente, de tempos em tempos surgem alegações por parte de inúmeros irracionalistas ou beatos afirmando que inteligências extraterrenas *já* visitaram a Terra. Freqüentemente estes ganham seguidores entusiastas dentre aqueles que não são particularmente doutos em ciência. Assim é que temos, por exemplo, as lendas dos cultuadores dos "discos voadores" e as asserções de Erich von Dãniken, cujas histórias sobre "deuses astronautas" vêm fascinando os cientificamente analfabetos.

Entretanto, nenhuma alegação sobre invasões extraterrenas resistiu, no passado ou agora, à inquisição científica. E mesmo se se levam em conta as afirmações desses cultuadores, permanece o fato de que as ditas invasões nunca se mostraram perigosas. Realmente, não há indícios precisos de elas já terem afetado a Terra de alguma forma.

Se nos apegarmos ao racionalismo, devemos admitir que a Terra sempre esteve isolada durante toda a sua história. E precisamos nos perguntar o por quê disso. Três razões gerais podem ser oferecidas:

1. Há algo de errado em análises como as de meu livro sobre esse assunto; na verdade, não existem outras civilizações além da nossa.

2. Se tais civilizações realmente existem, o espaço entre elas é grande demais para tornar as visitas praticáveis.

3. Se a ultrapassagem do espaço é possível e se outras civilizações podem chegar até aqui, por alguma razão elas estão nos evitando.

Das três suposições, a primeira é certamente uma possibilidade; entretanto, a maioria dos astrônomos pô-la-ia em dúvida. Há algo de filosoficamente repugnante no pensamento de que, dentre todas as estrelas da galáxia (até 300 bilhões delas), só o nosso Sol aquece um planeta onde há vida. Já que existem muitíssimas estrelas como o Sol, a formação de um sistema planetário parece inevitável; a própria formação de vida em qualquer planeta apropriado parece inevitável, e a evolução da inteligência e da civilização pareceria igualmente inevitável, dado o tempo suficiente para isso.

É claro que não é difícil conceber-se que civilizações tecnológicas possam desenvolver-se aos milhões, mas que nenhuma sobreviva por muito tempo. O exemplo de nossa própria situação neste momento empresta certa credibilidade a este pensamento; e, no entanto, não é preciso que o suicídio seja a conseqüência inevitável. Algumas civilizações deveriam poder manter-se vivas. Até a nossa, quem sabe, possa.

A terceira razão também é duvidosa. Se a ultrapassagem do espaço entre as civilizações fosse possível, certamente expedições seriam enviadas para explorar e fazer reconhecimento, possivelmente ainda para colonizar.

Como a galáxia tem 15 bilhões de anos de vida, podem existir pelo menos algumas civilizações que tenham durado bastante tempo e atingido níveis altamente sofisticados.

Mesmo se a maioria das civilizações tivesse vida curta, as poucas que são exceção colonizariam os planetas abandonados e fundariam "impérios estelares". E pareceria inevitável que nosso sistema solar tivesse sido alcançado por naves de reconhecimento desses impérios e que os planetas tivessem sido explorados.

Os cultuadores dos discos voadores poderiam bem apegar-se a essa linha de argumentação como um fundamento para sua crença. Mas, se os discos voadores são realmente naves de reconhecimento de impérios estelares explorando nosso planeta, por que não fazem contato? Se não desejam atrapalhar nosso desenvolvimento, por que se fazem ver? Se nem sequer nos consideram, por que tantos deles pairam continuamente sobre nós?

Além disso, por que só chegaram a nós exatamente quando nossa tecnologia já se afirmara, e não antes? Não parece provável que eles tivessem alcançado este planeta no intervalo de bilhões de anos em que a vida era primitiva, colonizando então o planeta e estabelecendo um posto avançado de sua própria civilização? Não há um indício sequer de tal fato; à falta de maiores evidências, parece racional concluir jamais termos sido visitados.

Isso nos deixa com a segunda razão, que parece a mais prática das três. Mesmo 40 anos-luz é uma enorme distância. A velocidade da luz no vácuo é a máxima velocidade com que qualquer partícula pode viajar ou qualquer informação pode ser transmitida. E a realidade é que partículas com massa sempre viajam a velocidades menores, sendo ainda menores as

velocidades de objetos maciços como as naves espaciais (mesmo com altos graus de tecnologia). (Há, naturalmente, especulações relativas à possibilidade de viajar-se mais rápido que a luz, porém essas ainda são tão obscuras que não temos o direito de admitir que um dia isso será levado a cabo.)

Sob essas condições, levar-se-iam diversos séculos para se atravessar o espaço entre as civilizações (mesmo entre as mais próximas), não parecendo, pois, provável que grandes expedições de conquista seriam enviadas.

Poderíamos argumentar que as civilizações, uma vez suficientemente avançadas poderiam se expandir pelo espaço, construindo comunidades autosuficientes e isoladas — como um dia talvez o façam os seres humanos.

Essas comunidades espaciais podem posteriormente ser equipadas com mecanismos de propulsão, engajando-se em viagens através do espaço. É possível que haja no universo comunidades espaciais desse tipo contendo indivíduos de centenas, ou milhares, ou até milhões de civilizações diferentes.

Tais comunidades errantes, todavia, podem muito bem estar tão aclimatadas no espaço quanto algumas formas de vida emersas dos oceanos terrestres que se aclimataram na terra. Para os organismos das colônias espaciais, pode ser tão difícil aterrar numa superfície planetária quanto seria para o homem atirar-se num abismo. A Terra pode, ocasionalmente, ser observada lá do espaço, e podemos imaginar sondas automáticas sendo enviadas em direção à nossa atmosfera — mas nada mais que isso.

Grosso modo, pois, ao passo que a ficção científica vem freqüente e dramaticamente lidando com os temas de invasão e conquista por seres extraterrenos, é improvável que isso nos ofereça qualquer possibilidade correta de catástrofe em qualquer época de futuro previsível.

E, obviamente, se continuarmos a sobreviver e se nossa civilização tecnológica continuar a se desenvolver, tornar-nos-emos progressivamente mais capazes de nos defender de intrusos.

GUERRAS

Isso coloca a humanidade face a face com a única espécie inteligente, se tiver que se preocupar em termos de perigo: a própria humanidade. E isso pode bastar. Se a espécie humana está para ser completamente dizimada numa catástrofe do quarto grau, é a própria humanidade que pode fazê-lo.

Todas as espécies competem entre si por causa de alimento, sexo e segurança; sempre há brigas e lutas quando estas necessidades não são satisfeitas a nível de mais de um indivíduo. Normalmente as brigas não culminam com a morte, porque o indivíduo que leva a pior em geral foge e o vencedor geralmente se satisfaz com a vitória parcial.

Onde não há um alto nível de inteligência, não há consciência de outra coisa além do presente, nem clara presciência do valor de se prevenir uma futura competição, nem memória

precisa de afrontas ou prejuízos passados. Inevitavelmente, à medida em que aumenta a inteligência, a previsibilidade e a memória melhoram, e chega um ponto em que o vencedor não mais se satisfaz com a vitória imediata, passando a antecipar a vantagem de dar fim ao perdedor, prevenindo, assim, um futuro desafio. Da mesma forma, chega um ponto em que o perdedor fugitivo começa a buscar a revanche e, se fica claro que um simples combate corpo-a-corpo significará outra derrocada, passa a procurar outros meios de vencer, como a emboscada ou a reunião de aliados.

Em resumo, os seres humanos inevitavelmente chegam até a fazer guerras, não porque nossa espécie seja mais violenta que as outras, mas porque é mais inteligente.

É claro que, enquanto os homens eram compelidos a lutar somente com unhas, punhos, pernas e dentes, pouco se podia esperar na linha de resultados mortais. De modo geral, tudo o que podia ser infligido eram lacerações e contusões, e a luta até podia ser vista como um exercício saudável.

O problema é que, quando os seres humanos se tornaram mais inteligentes para planejar lutas (com o auxílio da memória e da previsibilidade), eles já tinham desenvolvido a capacidade de utilizar instrumentos. Assim que os guerreiros começaram a brandir clavas, empunhar machados de pedra e atirar lanças e flechas com pontas de pedra, as batalhas se tornaram cada vez mais sangrentas. O desenvolvimento da metalurgia tornou as coisas ainda piores, substituindo a pedra pelo duro e rijo bronze, seguindo-se o ainda mais duro e rijo ferro.

Todavia, enquanto a humanidade consistia em bandos nômades de coletores de comida e caçadores, os entrechoques certamente teriam sido breves, com um lado ou outro interrompendo-os e fugindo quando os danos alcançassem um nível inadmissivelmente alto. Nem se cogitava de conquistas permanentes, pois o chão não valia a conquista. Nenhum grupo de seres humanos podia se manter por muito tempo num dado lugar; havia sempre a necessidade de vaguear em busca de novas e relativamente intocadas fontes alimentares.

Uma mudança fundamental veio em pelo menos 7 000 a.C, quando as geleiras da mais recente era glacial estavam recuando uniformemente e os homens ainda usavam a pedra para seus utensílios. Naquela época, em diversos lugares do Oriente Médio (e, por fim, também em todos os outros lugares), os seres humanos estavam aprendendo a armazenar comida para uso futuro e até a providenciar a futura criação de alimento.

Isso era feito por meio da domesticação e do cuidado para com rebanhos de animais como carneiros, cabras, porcos, vacas, bois e galinhas, e da utilização deles para a obtenção de lã, leite, ovos e, naturalmente, carne.

Se apropriadamente manejados, não havia possibilidade de se esgotarem, porque podia-se confiar em que os animais reproduziriam seus próprios substitutos a uma taxa, se necessário, superior à de seu consumo. Dessa maneira, o alimento não-comestível ou inapetecível aos seres humanos podia ser usado para alimentar animais que fossem comida desejável, pelo menos potencialmente.

Ainda mais importante era o desenvolvimento da agricultura, a plantação planejada de cereais, verduras e árvores frutíferas. Isso possibilitou a obtenção de determinadas variedades de alimentos em maiores concentrações do que as encontradas na natureza.

O resultado do desenvolvimento da pecuária e agricultura foi a capacitação dos seres humanos no sustento de uma maior densidade populacional do que fora possível antes. Nas regiões onde esse avanço se deu aconteceram explosões demográficas.

Um segundo resultado foi que a sociedade se tornou sedentária. Não se podiam deslocar os rebanhos tão facilmente quanto as tribos humanas; o problema crucial, porém, era a agricultura. Fazendas não podiam ser transportadas. Os bens materiais e a terra revestiram-se de importância, fazendo aumentar sensivelmente o valor do *status* social graças à acumulação de posses.

Um terceiro resultado foi a crescente necessidade de cooperação e o desenvolvimento da especialização. Uma tribo de caçadores é autosuficiente e seu grau de especialização é baixo. Uma comunidade de fazendeiros pode ser forçada a construir e manter canais de irrigação e a montar guarda para impedir que os rebanhos se dispersem ou sejam roubados por predadores (humanos ou animais). Um cavador de canais ou um pastor dispõem de pouco tempo para outras atividades, mas podem permutar seu trabalho por comida e outras necessidades.

Infelizmente, a cooperação não necessariamente surge de bom grado, e algumas atividades são mais árduas e menos desejáveis que outras. A forma mais fácil de se lidar com esse problema é um grupo de seres humanos atacar outro e, por matar alguns membros, forçar os demais a executarem todo o trabalho desagradável. E os perdedores não podem fugir facilmente, presos como estão a suas fazendas e rebanhos.

Com a eterna ameaça do ataque a permear suas vidas, fazendeiros e vaqueiros começaram a se reunir e cercar a si mesmos com o intuito de se protegerem. O surgimento dessas cidades muradas marca o início da "civilização" — que vem da palavra latina para "habitante de cidade".

Por volta de 3500 a.C, as cidades haviam se transformado em organizações sociais complexas contendo várias pessoas que nem trabalhavam na lavoura nem na pecuária, mas que desempenhavam funções necessárias para fazendeiros e vaqueiros, como as de soldados profissionais, artesãos e artistas, ou administradores. Nessa época, o uso de metais estava sendo introduzido, e logo após 3000 a.C. surgia a escrita no Oriente Médio: um sistema organizado de símbolos que registraria as diferentes informações por períodos mais longos e com menor probabilidade de distorção do que os registros mnêmicos. Com isso teve início o período histórico.

Uma vez firmados os estabelecimentos citadinos, cada um deles controlando o território circundante destinado à agricultura e à pecuária (as "cidades-Estado"), as batalhas de conquista se tornaram mais organizadas, mais mortais e inevitáveis.

As primeiras cidades-Estado foram edificadas ao longo de cursos d'água. O rio oferecia um meio fácil de comunicação para as trocas e uma fonte de água para a irrigação, que assegurava o desenvolvimento pleno da agricultura. O fato de diferentes afluentes do rio serem controlados por distintas cidades-Estado, cada uma sempre suspeitando da outra e em geral abertamente hostis, prejudicava seu uso tanto para a comunicação como para a irrigação. Claramente, fazia-se necessário, para o bem-estar comum, que o rio ficasse sob o controle de uma única unidade política.

A questão era: qual a cidade-Estado que deveria exercer esse domínio? Isso porque, pelo

que se sabe, a idéia de uma união federativa com todas as partes compartilhando o processo decisório jamais ocorreu a ninguém e, provavelmente, não teria sido uma linha de procedimento praticável na época. A decisão de qual cidade-Estado teria o poder geralmente era deixada aos desígnios da guerra.

O primeiro indivíduo de quem se tem notícia por ter governado uma considerável extensão de rio como conseqüência de uma história anterior do que pode ter sido uma conquista militar foi o monarca egípcio Narmer (conhecido por Menes entre os gregos). Narmer fundou a primeira dinastia em aproximadamente 2850 a.C. e dominou toda a parte baixa do vale do Nilo. Não dispomos, contudo, de registros fidedignos de suas conquistas, sendo bem possível que seu domínio unificado tenha sido o resultado de herança ou diplomacia.

Sem sombra de dúvida, o primeiro conquistador, o primeiro homem a chegar ao poder e, aí, numa sucessão de batalhas, estabelecer seu domínio sobre uma extensa área foi Sargão, da cidade sumeriana de Agade. Ele elevou-se ao poder pelos idos de 2334 a.C, sendo que, antes de sua morte, em 2305 a.C, firmara-se no controle de todo o vale do Tigre-Eufrates. *Já* que, aparentemente, os seres humanos sempre valorizaram e admiraram a capacidade de vencer batalhas, ele é às vezes conhecido como Sargão, o Grande.

Em 2500 a.C, a civilização estava já bem estabelecida em quatro vales de rios da África e da Ásia: o do Nilo, no Egito; o do Tigre-Eufrates, no Iraque; o do Indo, no Paquistão; e o do Huang-ho, na China.

De lá, por intermédio de conquistas e do comércio, a área ocupada pela civilização foi constantemente se alargando até que, pelo ano 200 d.C, ela se estendia do oceano Atlântico ao oceano Pacífico quase que por inteiro, de oeste a leste, abrangendo os litorais norte e sul do Mediterrâneo e porções do sul e leste asiáticos. Isso representa uma extensão no eixo leste—oeste de algo como 13 000 quilômetros e, no eixo norte—sul, de 800 a 1 600 quilômetros. A área total da civilização deve ter sido, naquele tempo, de 10 milhões de quilômetros quadrados, cerca de 1/12 da área do planeta coberta por terra.

Mais: com o tempo, as unidades políticas tenderam a crescer, à medida em que os seres humanos evoluíram em sua tecnologia e se capacitavam mais em transportar a si mesmos e aos bens materiais para lugares mais distantes. Em 200 d.C, a porção civilizada do mundo foi dividida em quatro unidades principais de tamanhos aproximadamente iguais.

No extremo ocidente, circundando o mar Mediterrâneo, ficava o Império Romano. Ele atingiu sua extensão física máxima em 116 d.C, ficando praticamente intato até o ano 400. A leste dele e se estendendo até a região compreendida atualmente pelo Iraque, o Irã e o Afeganistão, estava o Império Neopersa, que, em 226, fortaleceu-se com a ascensão ao poder de Ardachir I, o fundador da dinastia Sassânida. A Pérsia atingiu o apogeu em termos de prosperidade com Cósroes I, em aproximadamente 550, e teve um brevíssimo tempo máximo de ocupação territorial em 620, com Cósroes II.

A sudeste da Pérsia ficava a Índia, que quase fora unificada sob Asoka, em aproximadamente 250 a.C, e se fortalecera novamente sob a dinastia Gupta, elevada ao poder por volta de 320. Finalmente, a leste da Índia ficava a China, poderosa entre 200 a.C. e 200 d.C, sob a dinastia Han.

BÁRBAROS

As guerras entre cidades-Estado e impérios da Antigüidade, que se originaram de sua conglomeração à volta de alguma região dominante, nunca chegaram a realmente acenar com a possibilidade de catástrofe. Não se podia nem pensar em exterminar a espécie humana, já que, mesmo com o maior sadismo do mundo, a humanidade não dispunha, na época, dos meios propícios para a execução desse projeto.

Seria muito mais possível que a destruição mais ou menos desejada das acumulações dolorosas dos frutos da civilização pudesse dar cabo daquele aspecto da aventura humana. (Isso seria uma catástrofe do quinto grau, algo com que ocuparemos a última parte deste livro.) E, no entanto, como a luta era entre uma região civilizada e outra, não era de se esperar que a destruição da civilização como um todo se seguiria — pelo menos não com o poder então existente nas mãos da humanidade civilizada.

A finalidade da guerra era aumentar o poder e a prosperidade do vencedor, pois este passava a obter um tributo extra. A fim de receber um tributo, era necessário deixar o suficiente para os conquistados para que eles pudessem incrementar o potencial do tributo. Nada se lucrava com uma destruição além da "lição" que se devia infligir aos conquistados.

Obviamente, onde sobreviveu o testemunho dos conquistados, é grande a mágoa provocada pela crueldade e ganância do conquistador — e, sem sombra de dúvida, justa —, porém os conquistados sobreviviam para condoer-se e, um tanto freqüentemente, sobreviviam com força capaz de um dia destronarem o conquistador e tornarem-se eles os conquistadores (igualmente cruéis e gananciosos).

E, de modo geral, a área ocupada pela civilização se alastrou progressivamente, o que é indício de que as guerras, embora cruéis e injustas para os indivíduos, nunca ameaçaram pôr fim à civilização. Pelo contrário, poderia se argumentar, os exércitos em marcha, num efeito colateral não-intencional, difundiam a civilização; além disso, o estímulo das emergências criadas pela guerra apressou a inovação, que acelerou o progresso tecnológico humano.

Havia, entretanto, um outro tipo de combate que era mais perigoso.

Cada região civilizada dos tempos antigos era rodeada de áreas de menor desenvolvimento — e é costume a referência aos povos não-desenvolvidos pelo termo "bárbaros". (A palavra é de origem grega e remonta apenas ao fato de os estrangeiros falarem línguas incompreensíveis, cujos sons, aos ouvidos gregos, pareciam algo como "barbar-bar". Mesmo as civilizações não-gregas eram chamadas de "bárbaras" pelos gregos. Todavia, a palavra passou a ser usada para denominar os povos não-civilizados, tendo uma conotação pejorativa de crueldade bestial.) Os bárbaros eram em geral "nômades" (da palavra grega que significa "aqueles que andam a esmo").

Eles tinham poucas posses, que consistiam basicamente em rebanhos, com que viajavam de pasto a pasto com a mudança das estações. Seus padrões de vida, em comparação com os

padrões citadinos, pareciam pobres e primitivos e, naturalmente, não possuíam as amenidades culturais da civilização.

Em comparação, as regiões civilizadas eram ricas por sua acumulação de alimentos e bens. Essas acumulações constituíam tentação mortal para os bárbaros, que não viam nada de errado em se servirem delas — se conseguissem conquistá-las. Muito freqüentemente, não conseguiam. As regiões civilizadas eram populosas e organizadas. Elas contavam com suas cidades muradas para se defender e geralmente conheciam melhor a ciência do guerrear. Sob governos fortes, os bárbaros foram contidos.

Por outro lado, os postos civilizados estavam presos à terra por causa de suas posses, ficando, assim, relativamente imóveis. Os bárbaros, em contraposição, eram móveis. Com seus camelos ou cavalos, podiam, num dia, fazer uma rápida incursão e, no outro, voltar. As vitórias sobre eles raramente eram notáveis e nunca (até quase a Idade Moderna) definitivas.

Além do mais, muitos dentre a população civilizada não eram "afeitos à guerra", já que o viver bem, que é o que as pessoas civilizadas fazem, freqüentemente conduz ao desenvolvimento de uma certa falta de tolerância às tarefas arriscadas e incômodas impingidas a soldados. Isso significa que não se podia contar com a grande maioria dos civilizados, como se poderia crer. Um bando relativamente pequeno de bárbaros guerreiros poderia ver na população de uma cidade pouco mais que vítimas indefesas, se o exército civilizado, por alguma razão, caísse derrotado.

Quando uma região civilizada caía nas mãos de dirigentes fracos, que permitiam a decadência do exército ou, pior ainda, quando a região mergulhava na guerra civil, não tardava em se seguir um ataque bárbaro bem-sucedido[51].

Um ataque bárbaro era bem pior que os rotineiros combates das civilizações, porque os bárbaros, não acostumados aos mecanismos da civilização, em geral não compreendiam o valor de manter as vítimas vivas a fim de explorá-las regularmente. O impulso era simplesmente se servirem do que lhes apetecia e destruírem impiedosamente o que não pudesse ser aproveitado no momento. Sob tais condições, freqüentemente, havia um colapso da civilização numa área limitada e durante tempo limitado, pelo menos. Era uma "idade das trevas".

O primeiro exemplo de uma incursão bárbara e de uma idade das trevas seguiu-se, naturalmente, não muito depois do nosso primeiro exemplo de conquistador. Sargão, o Grande, seus dois filhos, neto e bisneto se sucederam no governo do próspero Império Sumero-Acadiano. Em 2219 a.C, contudo, quando o governo do bisneto chegou ao fim, o império havia se deteriorado até os bárbaros *guti* do nordeste se tornarem um problema básico. Cerca de 2180 a.C, os *guti* tinham o controle do vale do Tigre-Eufrates, e seguiu-se um século de idade das trevas.

Ela veio a conter a conotação de grandes números, aparentemente para justificar a derrota nas mãos dos bárbaros, se se conseguir visualizar nossos antepassados civilizados como sendo sobrepujados por uma quantidade irresistível. Na verdade, as "hordas" bárbaras quase invariavelmente eram constituídas por poucos elementos, com certeza menos do que os por eles conquistados.

Os bárbaros eram especialmente perigosos quando ganhavam uma arma de guerra, que, pelo menos temporariamente, os fazia invencíveis.

Assim, por volta de 1750 a.C, as tribos da Ásia central criaram o carro puxado por cavalos e com ele, arremessaram-se sobre as terras povoadas do Oriente Médio e do Egito, dominando tudo por um dado período de tempo.

Felizmente, as invasões bárbaras nunca tiveram completo êxito no extermínio da civilização. As idades das trevas, mesmo quando essas trevas eram escuríssimas, nunca foram inteiramente negras, e nenhum bárbaro resistiu aos encantos da civilização — mesmo da civilização arrasada e decadente — dos conquistados. Os conquistadores se tornavam civilizados (e, por sua vez, não “afeitos à guerra”) e, como resultado, a civilização acabava crescendo de novo e, geralmente, alcançando níveis ainda mais altos.

Havia épocas em que era a população civilizada que ganhava uma nova arma de guerra e, por sua vez, se tornava ímbatível. Isso aconteceu quando o ferro começou a ser fundido no leste da Ásia Menor em 1350 a.C.

Aproximadamente. Pouco a pouco, o ferro se tornou mais comum, sua qualidade melhorou e as armas e armaduras de ferro passaram a ser manufaturadas. Quando, por volta de 900 d.C, os exércitos assírios foram completamente blindados a ferro, digamos assim, eles iniciaram uma dominação da Ásia ocidental, que durou três séculos.

Para nós, ocidentais, o exemplo mais conhecido de invasão bárbara e de uma idade das trevas é o daquela que pôs fim à porção ocidental do Império Romano. De 166 d.C. em diante, o Império Romano, tendo ultrapassado o período expansionista de sua história, lutou defensivamente contra a invasão bárbara. Vezes sem conta, Roma foi sacudida e se recompôs, isso quando sob o comando de imperadores fortes. Aí, em 378 d.C, os bárbaros godos venceram uma grande batalha em Adrianopla, destruindo para sempre as legiões romanas. A partir daí, Roma conseguiu erguer-se por mais um século, contratando bárbaros para lutar em seu exército contra outros bárbaros.

As províncias ocidentais gradualmente foram subjugadas pelos bárbaros, e os confortos da civilização findaram. A própria Itália foi barbarizada e, em 476, Rômulo Augusto, o último imperador romano a governar a Itália, foi deposto. Uma idade das trevas de cinco séculos se abateu, e foi só no século XIX que a vida na Europa ocidental voltou a ser tão agradável quanto fora com os romanos.

E, contudo, apesar de falarmos dessa idade das trevas pós-romana como se a civilização mundial estivesse a um passo da destruição, ela constituiu um fenômeno puramente local, circunscrito apenas ao que hoje é a Inglaterra, a França, a Alemanha e, em certo grau, a Espanha e a Itália.

Em 850, quando a tentativa de Carlos Magno de restaurar em certa medida a unidade e civilização da Europa ocidental não tinha dado resultado, e quando a região estava sob o assolamento de novos ataques bárbaros — os nórdicos do norte, os magiares do leste —, assim como dos muçulmanos civilizados do sul, qual a situação no resto do mundo?

1. O Império Bizantino, sobrevivente da metade oriental do Império Romano, ainda era forte e sua civilização se preservara numa linha incólume desde a Grécia e Roma

antigas. Além do mais, sua civilização estava na realidade se espalhando entre os bárbaros eslavos e aproximando-se de um novo período de poder sob a dinastia macedônica, uma linhagem de imperadores guerreiros.

2. O Império Abácida, que representava a nova religião do Islão e absorvera o Império Persa e as províncias síria e africana do Império Romano, estava no auge da prosperidade e civilização. Seu maior monarca, Mamun, o Grande (filho do famoso Harun al-Rachid das *Mil e urna noites),* morrera em 833. O reino muçulmano independente na Espanha também estava no ápice da civilização (aliás, mais alto que qualquer outro já visto pela Espanha em todos os séculos posteriores).

3. A índia, sob a dinastia Gurjara-Pratilhara, era forte e sua civilização continuava incólume.

4. A China, embora politicamente instável, alcançara um alto nível cultural, tendo com muito êxito propagado sua civilização até a Coréia e o Japão.

Em outras palavras, a área total da civilização ainda estava se expandindo e só no Extremo Ocidente existia uma região que havia decaído substancialmente, uma região que não somava mais de uns 7 por cento da área total ocupada pela civilização.

Embora as incursões bárbaras do século V pareçam tão poderosas e sinistras em nossos livros de história ocidental, se causaram tão poucos danos à civilização como um todo, houve outras incursões bárbaras em séculos posteriores que foram bem mais assustadoras. Se estamos menos familiarizados com os últimos bárbaros, é só porque as regiões da Europa ocidental que tanto sofreram no século V sofreram menos depois.

Durante o curso da história, as estepes da Ásia central haviam sido berço de cavaleiros tenazes, que virtualmente viviam sobre suas montarias[52].

Em anos bons, com bastante chuva, os rebanhos se multiplicavam — bem como os nômades. Nos anos de seca que se seguiam, os nômades conduziam seus rebanhos pelas estepes afora, em todas as direções, ribombando contra as fortificações civilizadas desde a China até a Europa.

Uma sucessão de membros de tribos, por exemplo, encontrava-se no que hoje é a Ucrânia, ao sul da Rússia, cada uma sendo substituída por novas hostes vindas do leste. No tempo do Império Assírio, os cimérios se achavam no norte do mar Negro. Eles foram expulsos pelos citas, em aproximadamente 700 a.C., e estes, pelos sármatas, por volta de 200 a.C, sendo seguidos pelos alamanos, cem anos depois.

Cerca de 300 d.C, os hunos chegaram do leste. Eles eram, até então, os mais temíveis invasores da Ásia central. Aliás, foi sua chegada que ajudou a empurrar os bárbaros germânicos para o Império Romano. Os germânicos não estavam, assim, se expandindo; estavam fugindo.

Em 451, Átila, o mais poderoso dos monarcas hunos, penetrou até Orleans, na França, e, perto dessa cidade, travou uma batalha não decidida com um exército de romanos e germanos aliados. Esse foi o ponto mais distante jamais atingido por qualquer das tribos centro-asiáticas. Átila morreu no ano seguinte, e seu império desfez-se quase que de imediato.

Seguiram-se os ávaros, os búlgaros, os magiares, os cazares, os pazinacas, os comanos, com estes últimos ainda dominando os ucranianos até 1200. Cada novo grupo de bárbaros fundava reinos que pareciam mais impressionantes no mapa que na realidade, pois todos consistiam numa população relativamente pequena dominando uma maior. Ou o pequeno grupo dominante era expulso por outro pequeno grupo da Ásia central, ou se misturava com o grupo dominado e se civilizava — geralmente ambas as coisas.

Então, em 1162, nasceu na Ásia central um homem chamado Temudjin. Muito lentamente, ele conseguiu ganhar poder primeiro sobre uma das tribos mongóis da Ásia central, depois sobre outra, até que, em 1206, quando tinha quarenta anos de idade, foi proclamado Gengis Khan ("rei muito poderoso").

Ele agora era o dirigente supremo dos mongóis, que, sob a nova liderança, aperfeiçoaram seu estilo de luta. Seu forte era a mobilidade. Sobre robustos pôneis que raramente precisavam desmontar, engoliam quilômetros e quilômetros, atacavam onde e quando não eram esperados, faziam fanfarronadas e desapareciam antes que os estonteados adversários pudessem mobilizar sua força vagarosa e estúpida para contra-atacar.

O que até então impedira os mongóis de se tornarem imbatíveis fora o fato de estarem se autoguerreando e de não terem um líder que soubesse aproveitar sua potencialidade. Sob o pulso forte de Gengis Khan, contudo, todas as contendas civis cessaram e, nele, os mongóis acharam seu líder militar. Gengis Khan coloca-se, de fato, entre os mais espetaculares cabeças dos anais da história. Somente Alexandre Magno, Aníbal, Júlio César e Napoleão podem justamente ser comparados a ele, e é bem provável que, dentre todos, tenha sido o maior. Ele transformou os mongóis na mais extraordinária máquina militar que o mundo já viu. O terror de seu nome elevou-se tanto que a própria menção de sua chegada bastava para paralisar todos em seu caminho, impossibilitando a resistência.

Antes de morrer, em 1227, Gengis Khan conquistara a metade norte da China e o Império Kharezm, no que é hoje a Ásia central soviética. Mais: ele treinara seus filhos e seus generais para prosseguirem nas conquistas — o que estes fizeram. Seu filho, Ogadai Khan, sucedeu-o no domínio e, sob ele, o resto da China foi subjugado. Entrementes, com Batu, neto de Gengis Khan, e Sabutai, seu melhor general, os exércitos mongóis avançaram para o oeste.

Em 1223, quando Gengis Khan ainda vivia, um ataque mongol na direção do oeste derrotara um exército de aliados russos e comanos, mas foi apenas um ataque. Em 1237, os mongóis afluíram para a Rússia. Em 1240, eles tinham tomado sua capital, Kíev, e praticamente toda a Rússia caiu sob seu controle. Eles se dirigiram à Polônia e à Hungria e, em 1241, derrotaram um exército polonês-germânico em Liegnitz. Atacaram a Alemanha e desceram para o Adriático. Não havia nada que pudesse contê-los e, analisando bem, parecia não haver razão para se supor que eles não conseguiriam abrir caminho até o oceano Atlântico. O que deteve os mongóis foi a notícia de que Ogadai Khan morrera e tinhase que votar seu sucessor. Os exércitos voltaram e, enquanto a Rússia permaneceu sob o domínio mongol, os territórios a oeste ficaram livres. Eles tinham sido bem maltratados — mas só.

Nos reinados dos sucessores de Ogadai, Hulagu, outro neto de Gengis Khan, conquistou o que é hoje o Irã, o Iraque e a porção leste da Turquia. Ele tomou Bagdá em 1258. Finalmente, Kublai Khan (também neto de Gengis) foi entronado em 1257 e, durante um período de 37

anos, governou um Império Mongol que incluía a China, a Rússia, as estepes centro-asiáticas e o Oriente Médio. Era o maior império em terras contínuas que já existira até aquele tempo e, dos impérios posteriores, só o russo, e a União Soviética que o seguiu, pôde rivalizá-lo.

O Império Mongol havia sido estabelecido a partir do nada por três gerações de dirigentes durante um período de meio século.

Se a civilização jamais fora abalada de cima a baixo por tribos bárbaras, essa era a grande oportunidade. (E, cem anos depois, veio a peste negra — pior que qualquer outra calamidade já experimentada.) E, por fim, os mongóis também não representaram uma ameaça. Suas guerras de conquista tinham sido sangrentas e implacáveis, é claro, e eram deliberadamente planejadas para acovardar seus inimigos e vítimas, porque os mongóis eram demasiadamente poucos para serem capazes de dominar império tão abrangente, a menos que os habitantes do lugar tivessem sido submetidos pelo terror.

Realmente constava dos planos de Gengis Khan, no início, ir além disso (assim dizem os relatos históricos). Ele se entretinha com o pensamento de arrasar as cidades e converter as regiões conquistadas em pastagens para rebanhos nômades.

É duvidoso afirmar-se se ele realmente poderia tê-lo feito, ou se ele não teria visto o erro de tal procedimento logo, mesmo se já tivesse começado a pô-lo em prática. O fato é que ele nunca chegou a tentar. Sendo um gênio militar, ele rapidamente aprendeu o valor da guerra civilizada e elaborou formas de usar as complexas tecnologias necessárias para sitiar cidades, escalar e bombardear muros, e assim por diante. É só um passo entre a visão do valor da civilização em conexão com a arte da guerra e a visão do valor da civilização para a arte da paz.

Entretanto, certa destruição inútil *foi* levada a cabo. O exército de Hulagu, após tomar o vale do Tigre-Eufrates, passou a arrasar arbitrariamente o complexo sistema de canais de irrigação que havia sido poupado por todos os antigos conquistadores e que mantinha a área como um próspero centro de civilização durante 5 000 anos. O vale do Tigre-Eufrates foi transformado na região pobre e retrógrada que é até hoje[53].

O fato é que os mongóis se tornaram dirigentes relativamente cultos, não muito piores que seus predecessores e, em alguns casos, melhores.

Kublai Khan, especialmente, foi um soberano culto e humanitário, com quem vastas extensões asiáticas experimentaram uma época de ouro como jamais tinham conhecido e não conheceriam de novo até (exagerando um pouco) o século XX. Pela primeira e última vez, o imenso continente eurasiano ficou sob controle unitário desde o mar Báltico até o golfo Pérsico, e a leste numa larga porção se estendendo até o Pacífico.

Quando Marco Polo, vindo da insignificante porção de terra que se supunha o reduto da "Cristandade", visitou o poderoso reino de Catai, ficou intimidado e assombrado; o povo de sua terra recusou-se a acreditar em suas descrições, por mais verdadeiras que tenham sido.

DA PÓLVORA ÀS BOMBAS NUCLEARES

Não demorou muito (depois das invasões mongóis), porém, para que a oscilante luta entre os fazendeiros citadinos e os bárbaros nômades se convertesse num permanente duelo. Um avanço na área militar deu à civilização uma ponta de vantagem sobre os bárbaros — e essa nunca pôde ser alcançada pelos últimos —, de modo que os mongóis foram chamados de "últimos bárbaros". Esse avanço era representado por uma invenção, a pólvora (que é uma mistura de nitrato de potássio, enxofre e carvão), que, pela primeira vez, colocou um explosivo nas mãos da humanidade{54}. Para fabricar a pólvora requeria-se uma indústria química cada vez mais refinada, o que faltava às tribos bárbaras.

A pólvora parece ter sido criada na China, porque, aparentemente, era usada lá para fogos de artifício já em 1160. Realmente, pode ser que tenham sido as invasões mongóis e o caminho aberto por seu vasto império para o comércio que tenham trazido à Europa o conhecimento da pólvora{55}.

Na Europa, todavia, a pólvora deixou de ser componente de fogos de artifício para constituir um mecanismo de propulsão. Em vez de arremessar pedras com a catapulta, usando madeira arqueada ou tiras de couro onde se localizava a força propulsora, a pólvora podia ser colocada num tubo (um canhão) com uma extremidade aberta. A bala do canhão seria disposta na extremidade aberta e a pólvora explosiva se encarregaria da propulsão.

Exemplos bem primitivos de tais armamentos foram usados em diversas ocasiões no século XIV, especialmente na Batalha de Crécy, em que a Inglaterra derrotou os franceses nos estágios iniciais da Guerra dos Cem Anos. Canhões como os usados em Crécy eram, contudo, relativamente inúteis, e a batalha foi definida pelos arqueiros ingleses, cujas flechas eram muitíssimo mais letais que os canhões daqueles dias. Aliás, o arco manteve-se senhor absoluto nos campos de batalha (quando era usado) por mais oitenta anos. Venceu a Batalha de Azincourt para os ingleses em 1415, sendo que eles se defrontavam com um exército francês bem superior em número, e conseguiu a vitória final para eles também em Verneuil, em 1424.

Entretanto, melhorias na pólvora e na criação e manufatura do canhão gradualmente possibilitaram a formação de uma artilharia eficiente, baseada na pólvora, que abatia o inimigo sem matar o próprio atirador. Na segunda metade do século XV, a pólvora dominava os campos de batalha — e assim foi durante outros quatro séculos.

Devido ao desenvolvimento da artilharia francesa, em contraposição ao arco, os ingleses, que haviam passado oitenta anos lentamente derrotando a França com seus arcos, foram expulsos em vinte anos. Além disso, a artilharia contribuiu decisivamente para pôr fim ao feudalismo na Europa ocidental. Não só os canhões podiam derrubar os muros de castelos e cidades sem dificuldade, como também só um governo forte e centralizado teria recursos para construir e manter um comboio de artilharia, de forma que, pouco a pouco, os grandes nobres se viram forçados a submeter-se ao rei.

Essa artilharia significava, de uma vez por todas, que o flagelo bárbaro estava terminado. Nenhum cavalo, por mais veloz que fosse, e nenhuma lança, mesmo a mais certeira, podiam enfrentar a boca de um canhão de igual para igual.

A Europa ainda estava em perigo diante daqueles que prazerosamente ela considerava

bárbaros, mas que eram tão civilizados quanto os europeus[56].

Os turcos, por exemplo, haviam inicialmente adentrado o reino do Império Abácida como bárbaros em 840, ajudado a causar sua desintegração (que os mongóis completaram) e sobrevivido ao Império Mongol, que havia se dividido em fragmentos deteriorados logo após a morte de Kublai Khan.

No processo, eles tinham se civilizado e capturado a Ásia Menor e partes do Oriente Próximo. Em 1345, os turcos otomanos (cujo reino veio a ser conhecido por Império Otomano) atravessaram os Bálcãs e se estabeleceram na Europa — de onde jamais foram inteiramente retirados. Em 1453, os turcos capturaram Constantinopla e puseram fim à história do Império Romano, mas fizeram-no com o auxílio de uma artilharia melhor que a possuída por qualquer potência européia.

As conquistas de Tamerlão (que se dizia descendente de Gengis Khan) tinham, enquanto' isso, parecido restaurar a era dos mongóis e, de 1381 a 1405, ele venceu batalhas na Rússia, no Oriente Médio e na índia.

Um nômade em espírito, ele utilizava as armas e a organização das regiões civilizadas que controlava, e (exceto o ataque breve e sangrento desfechado contra a índia) nunca se moveu além dos reinos previamente conquistados pelos mongóis.

Após a morte de Tamerlão, finalmente chegava a vez da Europa. Com a pólvora e a bússola, os navegadores europeus começaram a desembarcar nas linhas litorâneas de todos os continentes, e a ocupar e povoar os totalmente bárbaros e a dominar os basicamente civilizados. Durante um período de 550 anos, o mundo tornou-se crescentemente europeu. E, quando a influência européia começou a diluir-se, foi porque nações não-européias se tornaram europeizadas, se não em outra coisa, pelo menos nas técnicas de combate.

Com os mongóis, pois, eliminou-se qualquer possibilidade (nunca muito grande) de destruição da civilização pela invasão bárbara.

Entretanto, enquanto a civilização se defendia contra a barbárie, as guerras entre potências civilizadas iam se tornando cada vez mais selvagens.

Mesmo antes do advento da pólvora, houve casos em que a civilização parecia em risco de suicídio, pelo menos em algumas áreas. Na Segunda Guerra Púnica (218-201 a.C), o general cartaginês Aníbal assolou a Itália durante dezesseis anos, pelo que esta levou bastante tempo para se recuperar.

A Guerra dos Cem Anos entre a Inglaterra e a França (1338-1453) ameaçou reduzir a França à barbárie, e a Guerra dos Trinta Anos (1618-1648) finalmente acrescentou a pólvora aos horrores anteriores, acabando com metade da população alemã. Essas guerras, no entanto, se circunscreveram a determinadas áreas e, independentemente de quanto a Itália ou a França ou a Alemanha possam ter sofrido neste ou naquele século, a civilização, como um todo, continuou a se expandir.

Mas então, à medida em que a era da explosão fazia o domínio europeu alastrar-se pelo mundo, as guerras européias começaram a afetar a configuração dos continentes, e a era das guerras mundiais teve início. A primeira guerra que poderia ser considerada uma guerra mundial, no sentido de que os exércitos penetravam em diferentes continentes e mares —

sempre em lutas que, sob um ou outro aspecto, giravam em torno de problemáticas multilaterais —, foi a Guerra dos Sete Anos (1756-63). Nesta, a Prússia e a Grã-Bretanha, de um lado, combatiam a Áustria, a França, a Rússia, a Suécia e a Saxônia, de outro. As principais batalhas dessa guerra aconteceram na Alemanha, com a Prússia enfrentando uma tremenda desvantagem. Esta era, porém, governada por Frederico II (o Grande), o último monarca legítimo a ser um gênio militar — e ele sagrou-se vencedor[57].

Entrementes, contudo, ingleses e franceses se combatiam na América do Norte, onde a guerra, na realidade, se iniciara em 1755. Batalhas foram travadas na porção ocidental da Pensilvânia e em Quebec.

Batalhas navais entre a Grã-Bretanha e a França foram travadas no Mediterrâneo e fora das costas francesas, na Europa, e indianas, na Ásia. A Grã-Bretanha também lutou com os espanhóis nos mares que banham Cuba e as Filipinas, enquanto combatia em terra a França (isto, na índia). A Grã–Bretanha ganhou, arrebatando para si o Canadá, pertencente até então à França, e conquistou uma base incontestável na índia.

Foi no século XX que as guerras se alastraram tanto ou mais que no caso da Guerra dos Sete anos, e com intensidade cada vez maior. A Primeira Guerra Mundial presenciou graves combates em terra (desde a França até o Oriente Médio) e disputas navais em todos os mares (embora a única batalha naval séria envolvendo diversos navios de guerra tenha se passado no mar do Norte). A Segunda Guerra Mundial assistiu a uma ação ainda mais intensa em extensas partes da Europa e do Oriente Médio e em grandes porções da África setentrional e do Extremo Oriente, com contendas navais e aéreas ainda mais difundidas e de maior escala. Mas não foi só o aumento da escala que incrementou a ameaça à civilização. O grau tecnológico em desenvolvimento fez as armas de guerra progressivamente mais destrutivas.

O reinado da pólvora terminou no final do século XIX, com a invenção de explosivos fortes como o TNT, a nitroglicerina e o algodão-pólvora. Aliás, a Guerra Hispano-Americana de 1898 foi a última guerra de alguma monta a ser travada com a pólvora. Daí por diante, os navios começaram a ser couraçados e maiores, além de carregar mais armas de fogo poderosas.

A Primeira Guerra Mundial introduziu o uso militar de tanques, aviões e gases tóxicos. A Segunda Guerra Mundial introduziu a bomba nuclear. Desde então, surgiram os mísseis balísticos intercontinentais, os gases paralisantes, os raios *laser* e a guerra biológica.

Mais importante é o fato de que, embora a guerra se tenha tornado mais extensiva e as armas de destruição mais poderosas, o nível de inteligência dos generais não aumentou. De fato, à medida em que as complexidades e a destmtividade das armas cresciam, e que o número de homens empregados aumentava e a complexidade das operações combinadas estendidas a maiores áreas se multiplicava, ficava mais difícil preencher os requisitos cie decisões rápidas e inteligentes, e os generais iam cada vez menos ao encontro das expectativas. Os generais podem não ter ficado mais estúpidos, mas pareciam ser mais estúpidos em relação ao grau de inteligência necessário.

A Guerra Civil americana assistiu a tremendos prejuízos cuja responsabilidade foi de generais incompetentes, porém isso nada significa perto dos prejuízos causados pelos incompetentes generais da Primeira Guerra Mundial, igualmente poucos em comparação com

alguns dos erros fatais perpetrados na Segunda Guerra Mundial.

Não se aplica, portanto, a regra de que o combate civilizado não destruirá a civilização, desde que vencedores e vencidos igualmente se preocupem em salvar os frutos da civilização.

Primeiro: a destrutividade das armas intensificou-se até um grau que seu emprego pleno não só pode destruir a civilização como até, talvez, a própria humanidade; segundo: a normal incapacidade de líderes militares para executar seu trabalho agora pode conduzir a enganos tão monstruosos que a civilização ou até a humanidade possam ser arrasadas sem que haja qualquer intenção nesse sentido. Por fim, encaramos a única verdadeira catástrofe do quarto grau que podemos com razão temer: que uma guerra termonuclear sem precedentes possa de alguma forma ser acionada e levada a cabo, sem sentido, até o ponto do suicídio humano.

Isso pode acontecer. Acontecerá?

Vamos supor que os líderes políticos e militares do mundo tenham mentes equilibradas e detenham controle firme sobre os arsenais nucleares.

Nesse caso, não há probabilidade real de uma guerra nuclear. Duas bombas nucleares foram usadas em situações perigosas: uma em Hiroxima, no Japão, em 6 de agosto de 1945, e a outra em Nagasáquí, também no Japão, dois dias depois. Eram as duas únicas bombas existentes naquela época e a intenção era a de acabar com a Segunda Guerra Mundial. Nisso tiveram êxito, pois não havia possibilidade de um contra-ataque nuclear naquele tempo.

Durante quatro anos, os Estados Unidos foram os únicos detentores de um arsenal nuclear, mas não tiveram uma boa oportunidade de pô-lo em uso, porque todas as crises capazes de provocar a guerra, como o bloqueio soviético de Berlim em 1948, eram resolvidas ou neutralizadas sem a necessidade de utilizá-lo.

Então, em 29 de agosto de 1949, a União Soviética explodiu sua primeira bomba nuclear; daí por diante, a possibilidade de uma guerra com armas nucleares cresceu em ambos os lados — guerra essa que nenhum dos lados poderia ganhar, uma guerra que os dois lados sabiam bem ser impossível a qualquer deles ganhar.

Tentativas de conseguir uma linha de conduta suficientemente controladora a fim de fazer da guerra uma possibilidade racional falharam.

Ambos os lados conseguiram fabricar a muito mais perigosa bomba de hidrogênio em 1952; ambos desenvolveram mísseis e satélites; ambos buscaram uma constante sofisticação das armas em geral.

Conseqüentemente, a guerra entre as superpotências tornou-se impensável. O caso mais ameaçador de uma crise deu-se em 1962, quando a União Soviética instalou mísseis em Cuba, a 150 quilômetros da costa da Flórida, pondo os Estados Unidos à mercê de um ataque nuclear de perto. Os Estados Unidos impuseram um bloqueio naval e aéreo a Cuba e mandaram um virtual ultimato à União Soviética para remover aqueles mísseis. De 22 a 28 de outubro de 1962, o mundo esteve mais próximo de uma guerra nuclear do que jamais — antes ou depois.

A União Soviética cedeu e retirou seus mísseis. Em compensação, os Estados Unidos, que haviam apoiado uma tentativa de golpe no governo revolucionário de Cuba em 1961, aceitaram a política de não-intervenção em Cuba. Cada lado aceitou uma retirada inimaginável em dias prénucleares.

Novamente, os Estados Unidos lutaram durante dez anos no Vietnam e finalmente aceitaram uma humilhante derrota, sem tentar empregar armas nucleares, que teriam destruído o inimigo de imediato. Similarmente, a China e a União Soviética não se empenharam numa intervenção direta na guerra, contentando-se em apoiar o Vietnam de formas nada comprometidas com a guerra, porque não queriam provocar os Estados Unidos para uma ação nuclear.

Finalmente, em repetidas crises no Oriente Médio, nas quais os Estados Unidos e a União Soviética têm-se colocado em lados opostos, nenhuma das duas superpotências tentou uma intervenção direta. Aliás, as guerras ali têm sido impedidas de se desenvolver até o ponto em que um ou outro lado fosse forçado a tentar a intervenção direta.

Em resumo, nas quase quatro décadas desde que as armas nucleares surgiram em cena, elas nunca (exceção feita às proto-explosões em Hiroxima e Nagasáqui) foram usadas em guerras, e as duas superpotências têm se desdobrado extraordinariamente para evitar seu uso.

Se isso persistir, não seremos destruídos por uma guerra nuclear — mas persistirá? Afinal de contas, há uma proliferação nuclear. Somam-se aos Estados Unidos e à União Soviética, como construtores de armamentos nucleares, a Grã-Bretanha, a França, a China e a índia. Outros podem imitá-los; talvez inevitavelmente o façam. Será que uma potência secundária não poderia deflagrar uma guerra nuclear?

Se admitirmos que os líderes das potências secundárias também têm mentes equilibradas, então fica difícil ver por que o fariam. Ter bombas nucleares é uma coisa; ter um arsenal suficientemente grande para evitar a repentina e certa aniquilação por uma ou outra das superpotências é outra.

Aliás, é bem provável que qualquer das potências menores que faça o mínimo gesto em direção ao uso de uma bomba nuclear tenha imediatamente unidas contra si ambas as superpotências.

Mas quanta confiança podemos depositar na manutenção do equilíbrio mental dos líderes mundiais? No passado, algumas nações estiveram sob a liderança de personalidades psicóticas; e mesmo um líder mentalmente "normal" poderia, num acesso de raiva e desespero, perder o controle racional. Podemos facilmente imaginar alguém como Adolf Hitler ordenando um holocausto nuclear se a alternativa fosse a destruição de seu poder; entretanto, poderíamos imaginar também seus subalternos se recusando a executar suas ordens. Na realidade, por exemplo, algumas das ordens dadas por Hitler em seus últimos meses de vida «5o foram executadas por seus generais e administradores.

Por outro lado, existem agora alguns líderes nacionais que parecem ser bem fanáticos para puxar o gatilho nuclear, se tiverem algum. A sorte é que não o têm, e suspeito de que eles são tolerados pelo mundo em geral justamente porque não o têm.

Mesmo que todos os líderes políticos e militares permaneçam mentalmente sãos, será possível que o arsenal escape a seu controle e que uma guerra nuclear seja deflagrada pela decisão psicótica ou desesperada de um subalterno? Pior ainda, será que isso pode se iniciar por uma série de pequenas decisões, cada uma das quais parecendo a única solução possível diante de um movimento do inimigo, até que, finalmente, a guerra nuclear estoure sem que ninguém a deseje e todo mundo torcendo desesperadamente para que não aconteça? (Foi bem

assim que a Primeira Guerra Mundial começou.)

Pior de tudo, será possível que as condições mundiais se deteriorem tanto que uma guerra nuclear possa parecer uma alternativa preferível a não se fazer nada?

Sem dúvida, a única forma segura de se evitar uma guerra nuclear é destruir todas as armas nucleares; talvez o mundo ainda possa chegar a isso antes que a guerra nuclear estoure.

Parte V

CATÁSTROFES DO QUINTO GRAU

14 — O ESGOTAMENTO DOS RECURSOS

ITENS RENOVÁVEIS

Nos dois últimos capítulos chegamos à conclusão de que a única catástrofe do quarto grau que pode sobrevir é uma guerra termonuclear suficientemente intensa e prolongada que destrua toda a vida humana — ou que deixe míseros remanescentes da humanidade em condições tão deploráveis que só possam se encaminhar para a extinção.

Se isso acontecer, é provável que outras formas de vida venham a ser eliminadas, mas pode ser também que os insetos, a vegetação, os microrganismos, etc, sobrevivam para povoar o mundo novamente e fazê-lo florescer uma vez mais como um planeta habitável, até o dia (se este chegar) em que uma nova e sadia espécie inteligente evolua.

Discutimos a improbabilidade de essa guerra termonuclear intensa e prolongada ser provocada. Mesmo assim, um menor grau de violência bastaria para destruir a civilização, ainda que a própria humanidade sobrevivesse. Isso seria uma catástrofe do quinto grau, a menos drástica a ser discutida neste livro — mas suficientemente drástica.

Agora, suponhamos que a guerra, junto com graus mais baixos de violência, torne-se coisa do passado. Não é esperado que isso aconteça, mas pode até ser possível. Suponhamos que a humanidade resolva que a guerra é suicídio e não tem sentido algum, que é preciso agir racionalmente quando se quer resolver disputas, corrigir as injustiças que ocasionam a guerrilha e o terrorismo, e agir efetivamente para desarmar e conter aqueles a quem o racional (definido pelo senso comum humano) não satisfaz. Suponhamos, também, que a cooperação internacional chegue quase a ponto de instaurar uma forma federalizada de governo mundial, que participe globalmente da solução dos grandes problemas e projetos.

Isso pode parecer extremamente idealista, um verdadeiro sonho dourado, mas imaginemos que ocorra. A questão que se coloca é: garantindo-se um mundo de paz e cooperação, estaremos eternamente seguros?

Continuaremos aperfeiçoando nossa tecnologia até aprendermos a evitar a próxima era glacial daqui a 100 000 anos e a controlar o clima terrestre a nosso gosto? Continuaremos a aperfeiçoar nossa tecnologia ainda mais, após adentrarmos o espaço e nos tornarmos independentes do Sol e da Terra, para podermos fugir quando for chegada a hora de o Sol se tornar uma gigante vermelha daqui a 7 bilhões de anos (caso já não tenhamos fugido)? Será que continuaremos a aperfeiçoar nossa tecnologia até aprendermos a sobreviver ao universo em contração ou à máxima entropia, excedendo o universo em tempo de duração? Ou haverá perigos mortais iminentes e quase (ou totalmente) inevitáveis, mesmo em um mundo pacífico?

Pode acontecer. Consideremos, por exemplo, a questão de nosso aperfeiçoamento tecnológico. No desenrolar deste livro, considerei como ponto pacífico que a tecnologia se

desenvolveria indefinidamente, dadas as condições favoráveis; ela não tem fronteiras naturais, pois o conhecimento não tem limites e pode se ampliar indefinidamente. Mas qual o preço da tecnologia? Quais as condições necessárias? Visto isso, o que acontecerá se não pudermos pagar tal preço nem reunir as devidas condições?

Para ser bem sucedida, a tecnologia depende da exploração de recursos oriundos de nosso ambiente, e todo o avanço tecnológico implicaria um aumento no grau de exploração, ao que parece. Nesse caso, por quanto tempo esses recursos vão durar?

Devido à presença da radiação solar pelos próximos bilhões de anos, muitos recursos da Terra são indefinidamente renováveis. A vegetação utiliza a energia solar para converter a água e o dióxido de carbono em seu próprio tecido, liberando o oxigênio excedente para a atmosfera. Os animais dependem, enfim, do mundo vegetal para obter alimento e combinam esse alimento com o oxigênio, formando água e dióxido de carbono.

Esse ciclo de oxigênio e alimento (a que se podem adicionar vários minerais essenciais à vida) existirá enquanto houver a luz solar — pelo menos em potencial — e, do ponto de vista humano, tanto o alimento que comemos quanto o oxigênio que respiramos são eternamente renováveis.

Alguns aspectos do mundo inanimado também se renovam. A água, que é constantemente consumida e escoada para o mar, renova-se com a evaporação do oceano pelo calor solar e com a precipitação em forma de chuva. Os ventos existirão enquanto durar a distribuição irregular do calor solar sobre a Terra; as marés terão seu fluxo e refluxo enquanto a Terra girar em relação ao Sol e à Lua, e a si mesma.

Todas as formas de vida diversas da humana só lidam com recursos renováveis. Determinados organismos podem morrer por falta temporária de alimento e água em determinado lugar, ou por causa de aberrações climáticas, ou por presença e atividade de predadores, ou meramente por causa da idade avançada. Toda uma espécie pode morrer devido a mudanças genéticas, à incapacidade de adaptar-se a alterações ambientais, ou à substituição por outra espécie com melhores possibilidades de sobrevivência.

Entretanto, a vida continua, pois a Terra segue sendo habitável, graças à eterna reciclagem de recursos renováveis.

Somente o ser humano lida com recursos não-renováveis e, portanto, só ele corre o risco de estruturar um modo de vida cujos elementos essenciais podem faltar repentinamente. Essa falta pode representar tamanha desarticulação que é capaz de pôr fim à civilização humana. Aí, então, a Terra poderá ainda comportar a vida, mas não mais o avanço tecnológico.

Os primórdios da tecnologia sem dúvida utilizaram-se dos recursos renováveis. Os primeiros instrumentos eram fornecidos pela natureza. Um galho caído era usado como uma clava, assim como o era um osso dos membros de um grande animal. Eles eram recursos renováveis. Sempre temos um novo galho e um novo animal a nosso alcance.

Nem mesmo quando os humanos aprenderam a atirar pedras, a situação mudou. As pedras não são renováveis, entendendo-se que não se formam com a rapidez com que se desenvolve a atividade humana. Por outro lado, elas também não se consomem ao serem atiradas. Uma pedra que foi atirada pode ser apanhada e atirada novamente. A novidade surgiu quando as

pedras começaram a ser moldadas, a partir da lascagem, aparação ou afiamento, criando um corte ou uma ponta que permitissem usá-las como facas, machados, lanças ou pontas de flecha.

Eis, finalmente, um item que, além de insubstituível, é também extinguível. Se uma pedra afiada ou pontiaguda perder o fio, ela pode ser amolada uma ou duas vezes, mas logo ficará pequena demais e perderá a utilidade. Em geral, novas pedras devem ser afiadas. Apesar de sempre existirem, as pedras grandes são transformadas em pequenas, das quais só uma porção é útil. Ademais, algumas pedras servem mais como instrumentos afiados do que outras. O homem teve que começar a procurar pedras com a mesma cobiça com que procurava comida.

Contudo, havia uma diferença. O alimento sempre aparecia, pois mesmo a pior seca ou escassez nunca era permanente. Uma fonte rochosa, por sua vez, esgotava-se definitivamente.

Sendo a pedra o principal recurso inanimado com que a humanidade contava, pouco se temia sua extinção total. Ela existe em abundância e, na época em que foi o recurso básico (a Idade da Pedra), havia pouquíssimos homens para desfalcarem o suprimento.

Isso valia para as diversas qualidades de rochas — a argila para a cerâmica, o ocre para a pintura, o mármore ou pedra calcária para a construção, a areia para o vidro, *etc.*

A grande mudança veio com o uso do metal.

METAIS

A própria palavra “metal” vem do grego e significa “procurar, sondar”. Os metais atualmente utilizados para construções ou como instrumentos representam um sexto do peso das rochas componentes da crosta terrestre, e nem toda essa proporção é visível. Em sua maior parte, os metais existem combinados com o silício e o oxigênio, ou com o carbono e o oxigênio, ou apenas com o enxofre, formando “minérios” muito parecidos com outras rochas quanto a suas propriedades e aspecto.

Há alguns metais que não formam compostos facilmente, existindo em forma de pepitas. São eles o cobre, a prata e o ouro, aos quais adicionamos pequenas quantidades de ferro meteórico. O metal propriamente dito é muito raro.

O ouro compõe 1/200 000 000 da crosta terrestre, e é um dos metais mais raros. Mas provavelmente foi o primeiro metal a ser descoberto, exatamente por existir quase sempre em forma de pepita, cuja cor é um amarelo bonito e que chama a atenção. Era extremamente pesado, podia ser usado como ornamento por ser brilhante e podia ser moldado nas mais variadas formas, pois não era muito duro. Além disso, era permanente, uma vez que não oxidava nem deteriorava.

É provável que o ser humano tenha iniciado seu trabalho com o ouro em 4500 a.C. O ouro e, até certo ponto, a prata e o cobre eram valiosos devido à sua beleza e raridade e tornaram-se um meio de troca e uma ótima maneira de se armazenarem riquezas. Por volta de 640 a.C, os lídios da Ásia Menor.inventaram as moedas, pedaços de liga de ouro e prata com peso

determinado, cunhados com um brasão do governo para garantir sua autenticidade.

Geralmente, as pessoas confundem a utilidade do ouro como meio de troca com seu valor intrínseco; poucas coisas foram procuradas com tanto entusiasmo e causaram tanta alegria ao serem encontradas. Ainda assim, o ouro não é utilizado em grande escala. Se certa quantidade de ouro é encontrada, o suprimento mundial aumenta e, com isso, ele perde um pouco de seu valor principal: a raridade.

Conseqüentemente, quando a Espanha se apoderou do ouro acumulado pelos astecas e incas, ela não enriqueceu. A invasão do ouro na Europa depreciou seu valor, o que levou a um aumento contínuo no preço de outras mercadorias e à conseqüente inflação. A Espanha, tendo que importar mercadorias estrangeiras por causa de sua fraca economia, teve que trocar cada vez mais ouro por menos produtos.

Ainda assim, a ilusão de riqueza trazida pelo ouro fez com que a Espanha entrasse em inúmeras guerras no continente europeu, para as quais não estava preparada, e que a levaram a uma falência da qual nunca mais se recuperou (enquanto outras nações cujas economias não se baseavam no ouro prosperavam).

Na Idade Média, a tentativa de conversão de metais não-valiosos em ouro falhou, mas a verdadeira tragédia viria caso tivesse funcionado. O ouro logo teria se desvalorizado, e a economia européia teria enfrentado um tumulto do qual demoraria a se safar.

Entretanto, outros metais, que têm valor intrínseco por serem utilizados como instrumentos e nas construções, em contraposição ao ouro, ganham em utilidade quanto mais comuns forem. Quanto mais deles se encontrar à disposição, e quanto menor o preço em relação ao do ouro, mais poderão ser usados, mais forte será a economia, e mais alto o padrão de vida.

Para que os metais se tornassem comuns, porém, os homens precisavam ter mais que as pepitas encontradas ocasionalmente. Foi preciso descobrir métodos de obtenção dos metais a partir de seus minérios, de afrouxamento da ligação entre os átomos de metal e os átomos de outros elementos. Esse desenvolvimento da "metalurgia" deve ter ocorrido em 4000 a.C. no Oriente Médio, sendo o cobre o primeiro metal a ser obtido a partir de seu minério.

Aproximadamente 3000 a.C, descobriu-se que certos minérios contendo cobre e arsênio produziam uma liga muito mais dura e resistente que o cobre apenas. Este foi o primeiro metal a ser usado para algo mais que ornamentos — o primeiro a ser utilizado para utensílios e armaduras.

No entanto, o trabalho com o minério de arsênio não é seguro, e o envenenamento arsênico pode ter sido o primeiro "mal industrial" a atormentar o homem. Porém, acabou se descobrindo que, se o minério de estanho fosse misturado ao minério de cobre, obtinha-se uma liga de estanho e cobre, o "bronze", com a mesma qualidade da liga de arsênio e cobre e de preparo muito mais seguro.

Em 2000 a.C, o tipo estanho-cobre estava em pleno uso, dando início à "Idade do Bronze" no Oriente Médio. As mais notáveis relíquias daquele tempo são as épicas *Ilíada* e *Odisséia,* nas quais os guerreiros lutavam com armaduras de bronze e com lanças cujas pontas eram de bronze.

O minério de cobre não é comum, e as civilizações que usaram o bronze intensamente

descobriram ter exaurido o suprimento local, tendo que importar grandes quantidades de outros países. O minério de estanho era ainda pior. O cobre já não é um componente comum da crosta terrestre, mas o estanho o é menos ainda. Aliás, o estanho é quinze vezes mais raro que o cobre. Isso queria dizer que pelo ano 2500 a.C, tempo em que ainda se encontrava o cobre em vários locais do Oriente Médio, o suprimento local de estanho parecia ter-se exaurido completamente.

Foi a primeira vez na história que os homens enfrentaram o esgotamento de um recurso natural; não apenas um esgotamento temporário, como o do alimento em tempos de seca, mas sim permanente. As minas de estanho esvaziaram-se e nunca mais tornariam a se encher.

A menos que o ser humano pretendesse se ajeitar com o bronze existente, novos suprimentos de estanho teriam que ser encontrados em algum lugar. A busca continuou por áreas cada vez mais amplas e, por volta de 1000 a.C, os navegadores fenícios ultrapassavam o Mediterrâneo e encontravam as "ilhotas de estanho". Estas, acredita-se, podem ter sido as ilhas Scilly, próximas ao extremo sudoeste da Cornualha, Inglaterra.

Porém, nesse ínterim, desenvolvera-se uma técnica de obtenção do ferro a partir de seus minérios em 1300 a.C, na Ásia Menor. O ferro era mais preso aos outros átomos do que o cobre ou o estanho, e mais fácil de se separar. Exigia uma alta temperatura, e a técnica da utilização do carvão vegetal para esse propósito levou algum tempo para se desenvolver.

O ferro meteórico era muito mais duro e resistente que o bronze, mas o minério de ferro era frágil e quase inútil. O motivo era que o ferro meteórico continha uma mistura de níquel e cobalto. O ferro produzido a partir do minério, porém, às vezes era satisfatoriamente duro e resistente.

Isso não ocorria sempre, mas com freqüência suficiente para que os metalúrgicos labutassem na refinação do ferro. Acabou-se descobrindo que a adição do carvão vegetal ao ferro em quantidade adequada o endurecia.

Produzia o que hoje chamamos de "superfície de aço".

Em 900 a.C, os siderúrgicos aprenderam a fazer isso propositadamente, e a Idade do Ferro começou. Repentinamente, a escassez do cobre e do estanho não tinha mais importância.

Este é um exemplo de como os homens têm lidado com o esgotamento de recursos no curso da história. Em primeiro lugar, intensificaram a busca de novas provisões[58] e, em segundo, encontraram substitutos.

Através da história, desde a descoberta da metalurgia, a utilização do metal tem aumentado, e de forma acelerada. Descobriram-se novos métodos de fabricação do aço no século XIX, e os metais desconhecidos aos antigos, como o cobalto, o níquel, o vanádio, o nióbio e o tungstênio, foram utilizados em combinação com o aço, formando ligas de metal de dureza e propriedades inusitadas. Desenvolveram-se métodos de obtenção do alumínio, do magnésio e do titânio, metais que têm sido usados para construções em grande escala.

Mas hoje o homem enfrenta o esgotamento de muitos metais em escala mundial e, com isso, o esgotamento de muitas facetas de nossa civilização tecnológica. Mesmo os metais antigos ganharam novas utilidades de que não abriríamos mão. Nem o cobre nem a prata são necessários para a ornamentação, tampouco para a cunhagem de moedas, mas até hoje o cobre

é essencial para a nossa rede elétrica, pois nenhuma outra substância é tão boa condutora de eletricidade, e os compostos de prata são essenciais para a fotografia. (O ouro, contudo, continua não sendo usado em larga escala.) O que fazer, então, quando se esgotarem as minas, não apenas de uma área específica, mas de toda a Terra? Tem-se a impressão de que nenhum metal estaria disponível, e que o homem não teria outra escolha a não ser abandonar a tecnologia a tal ponto que a civilização desmoronaria, mesmo que o mundo estivesse em paz e sob um governo planetário humanista.

Alguns de nossos importantes metais deverão se exaurir, segundo algumas estimativas, dentro de um quarto de século. Dentre eles estão a platina, a prata, o ouro, o estanho, o zinco, o chumbo, o cobre e o tungstênio.

Será que isso significa que a ruína da civilização paira sobre nós?

Talvez não. Há meios de se superar esse esgotamento.

Em primeiro lugar, há a economia. Às vezes, quando o material é abundante, é usado por motivos supérfluos, para trivialidades, por uma questão de aparência ou modismo. O objeto feito desse material, quando quebrado, é simplesmente substituído, em vez de ser consertado ou remendado. Às vezes, é substituído pelo simples fato de que um novo objeto encerra mais prestígio e *status* social que o antigo. Algumas alterações são incluídas propositadamente para estimular a substituição com mais rapidez que a exigida pelo uso do objeto — só para ficar na moda.

Em 1899, o economista americano Thorstein Veblen (1857-1929) inventou a expressão "consumo conspícuo" para descrever o método de desperdício como indicador de prestígio social. Esse consumo conspícuo faz parte dos investimentos sociais humanos desde os tempos pré-históricos. Até recentemente, porém, ele era prerrogativa de uma diminuta camada social superior, e os refugos eram usados pelas classes inferiores.

Recentemente, com o advento da técnica de produção em massa, tornou-se possível alastrar o consumo conspícuo por toda a população. Na verdade, o supérfluo tem sido considerado um meio de incentivar a produção e garantir uma economia saudável.

Entretanto, quando o suprimento de certas comodidades minguar, o impulso para economizar será fortalecido de um jeito ou de outro. Os preços fatalmente subirão mais que os salários, forçando os menos favorecidos a economizar, devolvendo a prerrogativa da dissipação ao rico. Se os muitos pobres se zangarem e se rebelarem por não poderem participar daquele excedente, a sociedade pode chegar ao racionamento. Isso também se torna abusivo, mas, de um jeito ou de outro, o suprimento minguante vai durar mais do que se imagina, julgando-se só pelos hábitos sociais da prosperidade.

Em segundo lugar, a substituição. Um metal comum pode substituir o mais raro. Dessa forma, as moedas de prata foram substituídas pelas de alumínio e níquel. De modo geral, os metais podem ser substituídos por não-metais, como o plástico ou o vidro.

Por exemplo, raios de luz podem ser usados em vez de corrente elétrica na transmissão de mensagens, inclusive, de modo mais eficiente.

Esses raios de luz podem ser enviados por fibras de vidro. Os finos cabos de fibra de vidro podem substituir as inúmeras toneladas de cobre que se usam em comunicações elétricas, e o

vidro, sendo derivado da areia, não se extinguira com facilidade.

Em terceiro lugar, as novas fontes. Embora pareça que todas as minas possam ser esgotadas, o que queremos dizer é que todas as minas de que temos conhecimento na face da Terra podem ser esgotadas. Novas minas talvez sejam descobertas, embora isso se torne cada vez mais improvável com o passar do tempo e quanto mais se examina a superfície terrestre em busca de minérios.

Além disso, o que queremos dizer com "esgotar"? Quando falamos em uma mina, estamos nos referindo a uma porção da crosta na qual um determinado metal acha-se concentrado de tal modo que possa ser proveitosamente isolado. Com o avanço tecnológico, porém, encontraram-se métodos pelos quais determinados metais podem ser extraídos proveitosamente, mesmo quando as concentrações são tão pequenas que nem poderiam ser exploradas com métodos antigos. Em outras palavras, hoje há minas que não teriam sido consideradas minas no passado.

Esse processo deve continuar. Embora um certo metal possa estar extinto se considerarmos as minas existentes hoje, novas minas podem brotar quanto mais formos capazes de lidar com as concentrações menores.

Além disso, podemos sair dos limites da terra. Há porções do fundo do mar cobertas com nódulos espessos de metal. Estima-se que haja 11 000 desses nódulos por quilômetro quadrado do oceano Pacífico. A partir desses nódulos, vários metais podem ser obtidos, inclusive alguns dos mais úteis e que estão em falta — como o cobre, o cobalto e o níquel —, sem complicações; basta que os nódulos sejam dragados do fundo do mar. Essas operações de draga de caráter experimental estão sendo planejadas no momento.

Ora, se o fundo do mar tem tanto a oferecer, por que não o próprio mar? A água marinha contém todos os elementos, geralmente em baixa concentração, pois a chuva que cai na terra leva um pouco de tudo de volta para o mar. Atualmente, podemos obter o magnésio e o bromo a partir da água marinha sem grandes complicações, de modo que nosso suprimento desses dois elementos não deverá se esgotar num futuro previsível.

Afinal de contas, o oceano é tão imenso que a quantidade total de qualquer metal em solução no mar é enorme, não importando o grau de diluição dessa solução. O mar contém aproximadamente 3,5 por cento de matéria dissolvida, de modo que cada quilômetro cúbico de água marinha contém 36 toneladas de sólidos dissolvidos. Outra maneira de se colocar a questão é que cada tonelada de água marinha contém 35 quilos de sólidos dissolvidos.

Dos sólidos dissolvidos em água marinha, 3,69 por cento consistem em magnésio e 0,19 por cento em bromo. Uma tonelada de água marinha conteria, portanto, 1,29 quilo de magnésio e 66,5 gramas de bromo[59].

Considerando-se que há 1 400 000 000 000 000 de toneladas de água marinha na Terra, tem-se uma idéia da quantidade total do magnésio e do bromo disponíveis (especialmente porque tudo o que é extraído acaba lentamente sendo levado de volta ao mar).

Um terceiro elemento, o iodo, também se obtém a partir da água do mar. O iodo é um elemento relativamente raro e, em 1 tonelada de água marinha, encontram-se apenas 5 miligramas aproximadamente. Isso é pouco para justificar sua separação pelos métodos

químicos comuns. No entanto, certas algas marinhas têm a capacidade de absorver o iodo em seus tecidos.

Da cinza das algas obtém-se o iodo.

Não seria possível a obtenção de outros elementos de valor a partir da água marinha caso se desenvolvessem técnicas de concentração de conteúdo tão escasso? O oceano contém, ao todo, perto de 15 bilhões de toneladas de alumínio, 4,5 de cobre e 4,5 de urânio. Contém, também, 320 milhões de toneladas de prata, 6,3 de ouro e 45 de rádio.

Eles estão lá. O problema é tirá-los de lá.

Ou, então, podemos abandonar a Terra. Há não muito tempo, a idéia de escavar minas na Lua (ou mesmo nos asteróides) só pareceria cabível em histórias de ficção científica. Hoje em dia, já não se acha a idéia tão impraticável. Se os fenícios puderam se dirigir às ilhotas de estanho em busca do metal escasso, podemos também seguir para a Lua. A tarefa de minerar a Lua hoje em dia não deve ser mais árdua do que foi a mineração das ilhotas de estanho para os fenícios.

Finalmente, tendo completado a lista de novas fontes, podemos até argumentar que nenhuma é necessária. Os 81 elementos que possuem variedades atômicas estáveis são indestrutíveis sob condições normais. O ser humano não os consome: simplesmente transporta-os de um lugar a outro.

Os processos geológicos, em atividade há bilhões de anos, concentraram os diversos elementos, inclusive metais, em diversas regiões.

O que o ser humano faz, e cada vez mais rapidamente, é extrair os metais e outros elementos desejados das regiões em que estão concentrados para espalhá-los mais amplamente, de modo mais uniforme e mais superficialmente, misturando uns aos outros.

Os metais lá estão, porém, embora possam estar espalhados, corroídos e combinados com outros materiais. De fato, os entulhos da humanidade são um imenso depósito dos vários elementos que ela tem utilizado dessa ou daquela maneira e jogado fora. Com técnicas adequadas, eles poderiam ser recuperados e reutilizados.

Teoricamente, então, não nos podem faltar os vários elementos, ou, em sentido lato, as substâncias, pois todas as substâncias que não são elementos são formadas de elementos.

Mas o simples esgotamento não é o único destino que ameaça os recursos que utilizamos, nem mesmo os recursos dos quais a vida (inclusive a humana) depende. Mesmo aqueles que não esgotamos, e talvez nunca esgotemos, podem tornar-se inúteis devido a nossas atividades. Os recursos podem estar logo aí, mas não nos servirão.

POLUIÇÃO

Na verdade, os objetos materiais não se esgotam. Simplesmente os átomos são

reorganizados. Tudo o que se usa transforma-se em outra coisa; conseqüentemente, para todo consumo há uma produção equilibrada.

Se consumimos o oxigênio, produzimos o dióxido de carbono. Se consumimos o alimento e a água, produzimos a transpiração, a urina e as fezes. De modo geral, não podemos utilizar os produtos que eliminamos.

Não podemos respirar o dióxido de carbono nem comer ou beber os resíduos.

Felizmente, o mundo vital é uma unidade ecológica, e o que são resíduos para nós é material útil para outros organismos. O dióxido de carbono é essencial para o funcionamento da vegetação, a qual produz e elimina o oxigênio no processo de respiração. Os resíduos que produzimos podem ser, e são, decompostos e utilizados por vários microrganismos, e o restante pode ser utilizado pelas plantas na purificação da água e na produção de alimentos. O que a vida elimina, ela produz novamente, e o ciclo se repete. Esse processo recebe o nome de “reciclagem”.

Isso também é válido, até certo ponto, para o mundo da tecnologia humana. Se o homem queima a madeira, ele reproduz o efeito do raio na natureza. A madeira que o homem queima adentra o ciclo junto à madeira que o raio queima. Durante centenas de milhares de anos de utilização do fogo pelo homem, essa utilização foi insignificante se comparada à outra queima; assim, a atividade humana jamais sobrecarregou o ciclo.

Consideremos, também, a utilização de instrumentos de pedra. Isso implica uma contínua transformação de grandes porções de rochas em pequenas porções. Um pedaço de rocha que fosse grande demais para ser usado poderia ser quebrado em porções mais úteis, e cada uma dessas porções poderia ainda ser lascada, lapidada ou esmerilhada na fabricação de uma ferramenta. A ferramenta acabaria sendo inutilizada por perder o fio ou ter a forma alterada.

Esse mecanismo reprisa um processo natural, pois a ação do vento, da água e das intempéries gradualmente desgasta a rocha, transformando-a em areia. Esses grânulos rochosos podem se aglomerar novamente graças a processos geológicos. A transformação da rocha em grânulos e depois em rocha novamente é um ciclo que se completa num período de tempo bastante extenso. Portanto, tendo o homem como parâmetro, os grânulos rochosos, produtos inevitáveis da fabricação de ferramentas, não são recicláveis.

Tudo aquilo que é produzido pela atividade humana e não tem utilidade nem reciclagem chama-se “poluição”. Os grânulos rochosos eram inúteis e faziam desordens. Porém, enquanto poluição, eram até benignos.

Podiam ser colocados de lado sem causar danos.

Todavia, os resíduos que podem ser reciclados pela natureza podem se transformar em poluição se sobrecarregarem a capacidade do ciclo, em dada região, em determinada época. Ao queimarem a madeira, por exemplo, os homens produziam a cinza. Esta, tal como os grânulos rochosos, poderia ser posta de lado sem causar muitas complicações. O fogo incandescente também produzia vapores basicamente compostos de dióxido de carbono e vapor de água, os quais, por si sós, não causam muitos problemas. Incluídas no vapor estavam diminutas quantidades de outros gases que provocavam a irritação dos olhos e da garganta, alguns bocados de carvão não queimado que sujavam as superfícies com fuligem, partículas

finamente divididas e prejudiciais. O vapor, juntamente com esses constituintes, formava uma fumaça densa.

Ao ar livre, essa fumaça se dispersava rapidamente e em concentrações tão baixas que não causava incômodo. Há, ao todo, aproximadamente 100 000 000 000 000 de toneladas de gás em nossa atmosfera, e a fumaça de todo o fogo provocado pelos homens primitivos (bem como o das queimadas provocadas por relâmpagos) diluiu-se a ponto de se tornar insignificante, dispersa nesse imenso reservatório. A partir daí, processos naturais reciclaram as substâncias da fumaça e restauraram a matéria-prima que as plantas utilizariam para constituir a madeira novamente.

E se o fogo era provocado em uma residência para fins de iluminação, aquecimento, cozimento e segurança? Dentro da residência, a fumaça se acumulava em alta concentração, ficando suja, malcheirosa e irritante antes mesmo que um processo de reciclagem se iniciasse. O resultado era insuportável. Provavelmente, a fumaça de madeira queimada foi o primeiro exemplo de problema relacionado à poluição a ser produzido pela tecnologia humana.

Havia algumas alternativas. Em primeiro lugar, o fogo poderia ser abandonado, o que nem se cogitava sequer na Idade da Pedra. Em segundo lugar, poder-se-ia utilizar o fogo apenas ao ar livre, o que teria sido inconveniente ao ser humano por diversas razões. Em terceiro, poder-se-ia utilizar um avanço tecnológico para fins de controle do problema da poluição — em resumo, poder-se-ia conceber algo como uma chaminé (um buraco no telhado, ou coisa assim). A terceira solução foi a escolhida.

Assim é que o ser humano, desde então, tem lidado com o desconforto dos efeitos colaterais. Invariavelmente, a escolha caminhou em direção da tecnologia corretiva e cumulativa.

Logicamente, cada etapa da tecnologia corretiva pode conter problemas próprios dela, o que reforça a problemática do processo. Caberia, nesse caso, perguntar se o objetivo é alcançado quando surge um efeito colateral indesejável e irremediável. Será que a poluição se tornará tão intensa a ponto de escapar a nosso controle? Poderá ela destruir nossa civilização tal qual uma catástrofe do quinto grau? (Ou mesmo, talvez, dizimar a vida tal qual uma catástrofe do quarto grau?) Assim, a queima de madeira aumentou com o crescimento populacional. Com o avanço tecnológico, novas queimas se adicionaram: a da gordura, do carvão, do petróleo e da gasolina — e a quantidade total de queimas amplia-se a cada ano.

De um modo ou de outro, toda queima requer uma chaminé, e a fumaça é sempre eliminada na atmosfera. No momento, isso significa que meio bilhão de toneladas de poluentes são expelidos no ar anualmente sob forma de gases irritantes e partículas sólidas. A atmosfera como um todo tem se tornado perceptivelmente mais suja à medida em que a tecnologia se ocupa em sobrecarregar o ciclo.

Naturalmente, a poluição é pior em grandes centros populacionais, onde hoje temos o *smog* (combinação das palavras *“smoke”* = fumaça e *“fog”* = neblina). Ocasionalmente, uma camada de inversão (camada superior de ar frio que prende uma camada inferior de ar quente por alguns dias) evita a dispersão de poluentes e o ar se torna perigoso sobre uma limitada região.

Em 1948 houve um *“smog* assassino” sobre a região de Donora, na Pensilvânia, que resultou

na morte instantânea de 29 pessoas. Isso ocorreu, também, diversas vezes em Londres e em outros lugares. Mesmo onde não haja morte instantânea, sempre há uma crescente incidência de doenças pulmonares a longo prazo em regiões poluídas, chegando até a nível de câncer pulmonar.

Será possível, então, que nossa tecnologia vá nos deixar com uma atmosfera irrespirável dentro em breve?

A ameaça certamente existe, mas a humanidade não está perdida. Nas primeiras décadas da Revolução Industrial, as cidades ficaram cobertas de nuvens de fumaça oriundas da queima do carvão betuminoso. Uma mudança para o carvão de antracite, que produzia menos fumaça, melhorou muito as condições de cidades como Birmingham, na Inglaterra, e Pittsburgh, nos Estados Unidos[{60}].

Outras medidas corretivas são possíveis. Um dos perigos da fumaça está na formação de óxidos de nitrogênio e enxofre. Se os compostos de nitrogênio e enxofre forem retirados do combustível, ou se os óxidos forem precipitados antes que a fumaça seja eliminada da atmosfera, grande parte do veneno da poluição será anulada. A nível ideal, os vapores de combustíveis em queima deveriam conter unicamente dióxido de carbono e água, e é bem possível que venhamos a atingir esse ideal[{61}].

Novos tipos de poluição do ar podem surgir de repente.

Um dos tipos, cuja periculosidade só se reconheceu em 1970, provém do uso de clorofluorcarbonos como o freon. Facilmente liqüefeitos e não-tóxicos, vêm sendo usados desde os anos 30 como refrigeradores (mediante vaporização e líquefação alternadas) em lugar de gases mais tóxicos e perigosos como a amônia e o dióxido de enxofre. Nas últimas duas décadas, vieram a ser utilizados na forma líquida em pulverizadores. Eliminados dessa forma, transformam-se em vapores e escapam, levando consigo o material contido em forma de pulverização fina.

Apesar de esses gases não serem prejudiciais à vida diretamente, demonstrou-se em 1976 que, se eles atingirem a camada superior da atmosfera, podem empobrecer ou destruir a camada de ozônio existente 24 quilômetros acima da superfície terrestre. Essa camada de ozônio (um tipo de oxigênio ativo com moléculas compostas de três átomos de oxigênio em vez dos dois encontrados no oxigênio gasoso comum) é opaca à radiação ultravioleta. Ela protege a superfície da Terra contra a radiação ultravioleta solar, energética, que é prejudicial à vida. Provavelmente, só depois que o processo de fotossíntese dos vegetais marítimos produziu uma quantidade suficiente de oxigênio para formar uma camada de ozônio é que os seres vivos puderam colonizar a terra.

Se a camada de ozônio for enfraquecida pelos clorofluorcarbonos, permitindo que a radiação ultravioleta do Sol atinja a superfície terrestre com maior intensidade, a incidência do câncer de pele aumentará. Pior ainda, o efeito em mícrorganismos do solo pode ser drástico, o que viria a influenciar violentamente todo o equilíbrio ecológico; não sabemos prever como, mas que será altamente indesejável.

A interferência na camada de ozônio ainda não é totalmente conhecida, mas a utilização de clorofluorcarbonos nos pulverizadores já diminuiu bastante, devendo-se encontrar um

substituto para sua utilização em refrigeradores e aparelhos de ar refrigerado.

Também não é só a atmosfera que está sujeita à poluição. Há também a água que a Terra contém, ou "hidrosfera". O suprimento de água da Terra é enorme e a massa da hidrosfera é 275 vezes maior que a da atmosfera. O oceano cobre uma área de 360 milhões de quilômetros quadrados ou 70 por cento de toda a superfície terrestre. A área do oceano é quarenta vezes maior que a dos Estados Unidos.

A profundidade média do oceano *é* de 3,7 quilômetros; portanto, o volume total do oceano é de 1,33 bilhões de quilômetros cúbicos.

Comparemos isso com a necessidade humana. Se considerarmos o uso da água para beber, para lavar, para banhos e para funções industriais e agriculturais, veremos que o mundo utiliza aproximadamente 4 000 quilômetros cúbicos de água por ano, apenas 1/330 000 do volume do oceano.

Dito assim, somos levados a crer ser ridícula a simples idéia de uma crise, uma falta crônica de água, não fosse pelo fato de o oceano ser inútil para nós enquanto fonte direta de água. O oceano transporta nossos navios, proporciona diversões e fornece-nos comida, mas não podemos beber sua água por ser salgada; nem a usamos na indústria ou agricultura, nem para nos lavarmos. Precisamos de água doce.

O suprimento total de água doce na Terra é de 37 milhões de quilômetros cúbicos, somente 2,7 por cento de todo o suprimento de água da Terra. Deste, a maior parte enccntra-se sob a forma de gelo nas regiões polares e nos picos de montanhas, o que também não é útil para nós. Boa parte dela encontra-se em regiões subterrâneas, onde sua obtenção fica dificultada.

O que precisamos é de água doce e líquida na superfície, em forma de lagos, represas e rios; desta, o suprimento da Terra é de 200 000 quilômetros cúbicos. Isso representa aproximadamente 0,015 por cento do suprimento total de água, e mesmo assim essa quantia é trinta vezes superior à que a humanidade utiliza anualmente.

Vale dizer que a humanidade não depende de um suprimento estático de água doce. Se assim fosse, em trinta anos esgotaríamos toda a reserva, seguindo o nível atual de consumo. A água que utilizamos é reciclada naturalmente. A água corre para o mar, que se evapora sob a ação do Sol, e o vapor precipita-se sob a forma de chuva, neve ou granizo. Essa precipitação é pura água destilada.

Aproximadamente 500 000 quilômetros cúbicos de água doce são precipitados a cada ano. Desses, é claro, boa parte cai diretamente no oceano, enquanto outro tanto cai em forma de neve sobre as geleiras e as calotas polares. Cerca de 100 000 quilômetros cúbicos caem na terra seca não coberta de gelo. Parte deles evapora antes de ser utilizada, mas aproximadamente, 40 000 quilômetros cúbicos se somam aos lagos, aos rios e ao solo dos continentes anualmente (e uma igual quantidade corre para o mar). Esse suprimento útil de chuva ainda é dez vezes superior ao que a humanidade utiliza.

Entretanto, a demanda humana cresce rapidamente. O uso da água nos Estados Unidos aumentou dez vezes neste século e, nesse ritmo, não vai demorar muitas décadas até que a necessidade demande um maior suprimento.

Isso se agrava, pois a precipitação não se distribui igualmente no tempo e no espaço. Há

locais onde a precipitação se dá em excesso, e há desperdício, e outros onde é baixa e a população precisa de cada gota que cai. Nos anos em que não chove, há secas e uma queda abrupta na produção agrícola. O fato é que o suprimento útil de água anda escasso em muitas partes do mundo atualmente.

Isso pode ser contornado. Podemos confiar em que chegará um dia quando poderemos controlar o tempo e, assim, a chuva cairá onde queiramos. O suprimento de água líquida e doce pode aumentar com a destilação direta da água do mar — algo que hoje está sendo implantado no Oriente Médio — ou pelo congelamento do sal marítimo.

Aí, então, o suprimento de gelo do mundo é devolvido ao mar em forma de *icebergs* rompendo os lençóis glaciais da Antártida e da Groenlândia. Esses *icebergs* são enormes reservatórios de água doce que derretem no mar antes de serem utilizados. No entanto, eles poderiam ser rebocados para o litoral de regiões áridas e lá utilizados.

Além disso, toda a água subterrânea existente, mesmo a dos desertos, poderia ser retirada de forma mais eficaz, e as superfícies dos lagos e reservatórios poderiam ser protegidas com finas películas de produtos químicos inócuos para diminuir a evaporação.

A questão do suprimento de água líquida e doce pode não configurar um problema sério, como se vê. Mais sério é o problema da poluição.

Os resíduos de todos os seres aquáticos da Terra são naturalmente depositados na água em que vivem. Esses resíduos são diluídos e reciclados por processos naturais. Os resíduos de animais terrestres são depositados na terra, onde são decompostos por microrganismos e reciclados. Os resíduos humanos seguem o mesmo ciclo, podendo também ser reciclados, embora as grandes concentrações populacionais tendam a sobrecarregar as regiões citadinas e suburbanas.

Pior que isso, os produtos químicos utilizados e produzidos pela humanidade industrializada são eliminados nos rios e lagos, e acabam chegando ao oceano. Dessa forma, nos últimos cem anos, os homens começaram a fazer uso de fertilizantes químicos contendo fosfatos e nitratos em quantidades cada vez maiores. Estes são depositados na terra, é claro, mas a chuva carrega parte deles para os lagos mais próximos. Como os fosfatos e os nitratos são necessários à vida, o crescimento dos organismos nesses lagos é incentivado, e o processo é chamado “eutroficação” (que vem do grego e significa “bom crescimento”).

Isso parece bom, mas os organismos incentivados prioritariamente são as algas e outros organismos unicelulares, que crescem em ritmo aceleradíssimo, ocupando o espaço de outras formas de vida. Quando as algas morrem, são decompostas por bactérias, que, no processo, consomem grande parte do oxigênio dissolvido nos lagos, desvitalizando as regiões mais profundas. Desse modo, o lago perde muito de seu valor como fonte de peixes e, pelo que foi exposto, de água potável. A eutroficação acelera as mudanças naturais que fazem com que o lago se encha e seque. O que normalmente levaria milhares de anos acaba acontecendo em algumas décadas.

Se isso é o que ocorre com as substâncias úteis à vida, o que dizer dos venenos instantâneos?

Muitas indústrias químicas acarretam a eliminação de produtos químicos de teor venenoso, e os resíduos que os contêm são jogados nos rios e lagos. Poder-se-ia pensar que ali eles se

diluíssem tornando-se inofensivos ou que fossem destruídos por processos naturais. O problema é que alguns produtos químicos são nocivos à saúde mesmo quando estão muito diluídos, e não se deixam destruir facilmente por processos naturais.

Mesmo não sendo totalmente nocivos quando diluídos, podem se acumular em seres vivos: os mais simples absorvem o veneno e os mais complexos comem os mais simples. Nesse caso, mesmo que a água continue potável, os seres aquáticos perdem seu valor comestível. Hoje em dia, nas regiões industrializadas dos Estados Unidos, quase todos os lagos e rios acham-se poluídos até certo ponto — e alguns em graus bem elevados.

Logicamente, todos esses resíduos químicos acabam sendo jogados no mar. Poder-se-ia pensar que o oceano, sendo tão vasto, conseguisse absorver qualquer quantidade de resíduos, por mais indesejáveis que fossem; mas não é isso que acontece.

Neste século, o oceano teve que absorver incríveis quantidades de derivados de petróleo e outros resíduos. Com o naufrágio de petroleiros, a lavagem de tanques de petróleo e o desembaraço do óleo usado de automóveis, 2 a 5 milhões de toneladas de óleo adentram o mar anualmente.

O óleo eliminado por navios chega a 3 milhões de toneladas por ano. Mais de 50 milhões de toneladas de água de esgoto e outros resíduos são atirados no mar só pelos Estados Unidos. Nem todos eles são perigosos, mas alguns o são, e a quantidade total de material que adentra o mar cresce assustadoramente a cada ano.

As regiões litorâneas, as mais ricamente dotadas de vida, são as mais atacadas pela poluição. Desse modo, um décimo da área de águas costeiras dos Estados Unidos, que antes serviram como fonte de alimento, são hoje inúteis por causa da poluição.

Portanto, se a poluição da água continuar indefinidamente, não apenas estará ameaçando a utilidade de nosso suprimento essencial de água doce num breve futuro, como também a viabilidade da utilização do oceano. Se tivéssemos que imaginar um mar envenenado e sem vida, perderíamos a vegetação microscópica (plâncton) que bóia em sua superfície ou próximo a ela, e que é responsável por 80 por cento da renovação de oxigênio da atmosfera. É quase certo que a vida terrena não sobreviveria à morte do mar.

Em suma, a poluição da água pode destruir a vida na Terra, constituindo uma catástrofe do quarto grau.

Mas isso não precisa acontecer. Antes de os resíduos perigosos se depositarem na água, eles podem ser tratados, e seus efeitos nocivos, reduzidos; determinados venenos podem ser proibidos por lei ou destruídos logo após sua produção. Se a eutroficação da água acontecer, as algas podem ser colhidas da água do lago para remover o excesso de nitratos e fosfatos, que podem ser utilizados como fertilizantes na terra novamente.

E, falando-se da terra, há resíduos sólidos também, resíduos que não adentram a atmosfera nem a hidrosfera — o lixo, o entulho, a sujeira. Eles têm sido produzidos pelo homem desde os primórdios da civilização. As antigas cidades do Oriente Médio deixavam acumular o lixo e a sujeira e até construíam novas edificações sobre eles. Toda cidade antiga arruinada acha-se em seu próprio túmulo de lixo. Os arqueólogos cavam o lixo para com isso conhecerem a vida daqueles tempos.

Nos tempos atuais, nós transportamos os resíduos sólidos para longe e os enterramos em áreas baldias. Toda cidade, portanto, tem suas áreas em que os automóveis viram ferro velho e enferrujam, e seus montes de lixo servem de campo de caça para os ratos.

Esses resíduos se acumulam indefinidamente, e as grandes cidades, com infinitas toneladas de lixo a remover diariamente (mais de 1 tonelada por pessoa por ano, em média, nas áreas industrializadas), estão ficando sem lugares disponíveis para juntar seus detritos.

Um aspecto sério do problema é que uma crescente porcentagem dos resíduos sólidos não é facilmente reciclável por processos naturais. O alumínio e os plásticos são particularmente duradouros. Mesmo assim pode-se desenvolver meios de reciclá-los; aliás, deve-se. São exatamente esses montes de lixo, conforme indiquei antes, que formam uma espécie de mina de metais usados.

ENERGIA: A VELHA

Os problemas do esgotamento de recursos e da poluição do ambiente têm, então, a mesma solução — a reciclagem{62}. Os recursos são o que se retira do ambiente, e a poluição é o que se devolve ao ambiente como excesso daquilo que é seguramente reciclado por processos naturais. O ser humano deve acelerar o processo de reciclagem para restaurar os recursos com a mesma rapidez com que são consumidos, e para eliminar a poluição com a mesma rapidez com que é produzida. Deve-se fazer com que o ciclo se desenvolva mais rapidamente e, em alguns casos, em direções que não ocorrem na natureza.

Isso demanda tempo, trabalho e o desenvolvimento de novas e melhores técnicas de reciclagem. Demanda algo mais: energia. Gasta-se energia na mineração do fundo do mar, ou para chegar à Lua, ou para concentrar elementos dispersos, ou para estruturar substâncias complexas a partir das mais simples. Gasta-se energia na destruição de resíduos indesejáveis, ou para torná-los inócuos, ou para juntá-los, ou para recuperá-los. Não importam a determinação, a esperteza e a inovação com que aprendamos a acionar o ciclo de modo que os recursos surjam e a poluição desapareça; gasta-se energia.

Em contraposição aos recursos materiais, a energia não pode ser utilizada e reutilizada indefinidamente; ela não é reciclável. Apesar de a energia não poder ser destruída, aquela porção de qualquer quantidade energética que se converte em trabalho diminui continuamente de acordo com a segunda lei da termodinâmica. Por essa razão, temos mais motivos de preocupação em relação à energia do que a quaisquer outros recursos.

Em suma, ao falarmos da possibilidade de esgotamento de recursos em geral, concluiríamos que só nos cabe considerar a possibilidade de esgotamento de nosso suprimento energético. Se tivermos um suprimento energético farto e contínuo, poderemos utilizá-lo para reciclar os recursos materiais e jamais esgotaremos qualquer coisa. Se nosso suprimento de energia for restrito, ou se nosso farto suprimento minguar, perderemos a capacidade de manipular o ambiente e perderemos, também, todos os outros recursos.

A quantas anda a energia de que dispomos?

A principal fonte de energia terrestre é a radiação solar, que nos banha constantemente. A vegetação converte a energia solar em energia química armazenada nos tecidos. Os animais, ao comerem as plantas, estruturam seu próprio armazenamento de energia química.

A luz solar também se converte em formas inanimadas de energia.

Com o aquecimento desigual da Terra, formam-se correntes no mar e no ar, e essa energia pode se concentrar de forma violenta como no caso de furacões e tornados. Com a evaporação da água do mar e sua condensação como chuva, produz-se a energia da água corrente na terra.

Em menores proporções, há também outras fontes de energia além da solar. Há o calor interno da Terra, que se faz sentir como mais ou menos benigno quando vem sob a forma de fontes quentes e gêiseres, e violento, sob a forma de terremotos e vulcões. Há a energia da rotação terrestre, a qual se revela nas marés. Há a energia oriunda de radiações outras que não a do Sol (as estrelas, os raios cósmicos) e a radioatividade natural de elementos, como o urânio e o tório, encontrados no solo.

Em sua maioria, as plantas e os animais utilizam a energia química armazenada em seus tecidos, embora mesmo as formas mais simples de vida possam também utilizar a energia inanimada — como quando as plantas deixam o pólen ou as sementes serem levados pelo vento, por exemplo.

Isso também era válido para os primeiros seres humanos. Utilizavam sua própria energia muscular, transferindo-a e concentrando-a por meio de ferramentas. Isso, em si mesmo, não é algo a ser descartado. Muito se pode fazer com rodas, alavancas e cunhas, mesmo quando acionadas apenas pelo músculo humano. Assim foram construídas as pirâmides do Egito.

Mesmo antes do nascimento da civilização, o homem aprendera a utilizar a força de outros animais para suprir seu próprio trabalho. Isso significou um passo adiante da utilização da escravatura humana em muitos sentidos. Os animais eram mais tratáveis que os homens, e comiam alimentos que o homem rejeitaria, deixando intato o suprimento de alimentos.

Finalmente, alguns animais oferecem uma maior concentração de energia, que podem gastar mais rapidamente que o homem.

Talvez o animal doméstico mais bem-sucedido, do ponto de vista da velocidade e potência, tenha sido o cavalo. Até o início do século XIX, o galope do cavalo era mais veloz que qualquer outro transporte humano por terra; a economia agrícola de uma nação como os Estados Unidos dependia da saúde de seus cavalos e do número deles.

Os homens também usaram fontes inanimadas de energia. A mercadoria era transportada rio abaixo em balsas, utilizando a correnteza do rio. As velas eram propelidas pelo vento, levando os barcos contra a correnteza, que também era empregada para girar o moinho d’água, assim como o vento fazia girar o moinho de vento. Nos portos, os navios faziam uso da corrente marítima para adentrar o mar.

Todas essas fontes de energia, todavia, eram limitadas. Só tinham determinada intensidade de força, como o cavalo, ou eram sujeitas a flutuações incontroláveis como no caso do vento, ou se prendiam a regiões geográficas específicas, como no caso da rápida correnteza dos rios.

Deu-se uma reviravolta, quando pela primeira vez o homem utilizou uma fonte inanimada de energia disponível em quantidade e tempo razoáveis, portátil e perfeitamente controlável: o fogo.

No tocante ao fogo, só o hominídeo, dentre todos os organismos, desenvolveu a habilidade de usá-los. Eis a principal linha divisória entre os hominídeos e todos os demais organismos. (Digo hominídeos, porque não foi o *Homo sapiens* o primeiro a fazer uso do fogo.) Há indícios da utilização do fogo em cavernas na China, onde a antiga espécie hominídea, o *Homo erectus,* viveu há pelo menos meio milhão de anos.

O fogo surge naturalmente quando um raio atinge uma árvore e, sem dúvida, o primeiro uso do fogo se deu em função desse fenômeno preexistente. Algumas labaredas de fogo iniciado por um raio começaram a ser alimentadas com madeira, não o deixando apagar. Qualquer fogueira que se perdia era um transtorno, pois outro lume teria que ser encontrado para servir como acendedor e, se não fosse encontrado, o incômodo transformava-se em desastre.

Provavelmente só após 7000 a.C. é que se descobriram métodos de fricção com a finalidade de acender o fogo. Não se sabe e, talvez, nunca venhamos a saber como, onde e quando o método foi usado pela primeira vez, mas pelo menos sabemos que a descoberta foi feita pelo *Homo sapiens,* pois na época era o único hominídeo existente.

O principal combustível para o fogo em tempos antigos e medievais foi a madeira[{63}]. Assim como outras fontes energéticas, a madeira era indefinidamente renovável — mas com uma diferença: outras fontes não podem ser utilizadas mais rapidamente do que são renovadas. Os homens e o cavalo se cansam e precisam descansar. O vento e a água têm uma quantidade fixa de energia e não se pode exigir mais. Já no caso da madeira, não é assim. A vegetação cresce continuamente, é claro, e se auto-recompõe, de modo que a depredação pode até ser útil. A madeira pode ser usada em grau superior ao de renovação, e o homem passa a sacar já do suprimento futuro.

Conforme se intensificou o uso do fogo, com o aumento populacional e o desenvolvimento de uma tecnologia mais avançada, começaram a desaparecer as florestas nos arredores dos centros humanos da civilização.

Nem era possível preservá-las, pois todo avanço tecnológico aumentava a demanda de energia, e o homem nunca quis abrir mão do avanço tecnológico. Assim, a mineração do cobre e do estanho requeria calor, e isso só se conseguia com a queima da madeira.

A fundição do ferro exigia mais calor ainda, e a temperatura alcançada com a queima da madeira não era suficiente. No entanto, se a madeira era queimada em condições que impedissem a circulação do ar, o centro da pilha de lenha era carbonizado e transformado em “carvão vegetal”. Esse carvão vegetal se queimava mais lentamente que a madeira.

Não iluminava, mas produzia temperaturas muito mais altas que a simples queima da madeira. O carvão vegetal tornou mais prática a fundição do ferro (e forneceu o carbono, que produz uma superfície de aço, tornando o ferro mais útil). A produção do carvão vegetal, contudo, significava um desperdício da madeira em si.

As florestas continuaram a diminuir ante o violento ataque da civilização, mas mesmo assim não desapareceram por completo.

Aproximadamente 40 trilhões de metros quadrados de terra, 30 por cento do solo total da Terra, continuam arborizados.

Hoje em dia, é claro, são feitos esforços no sentido de se preservarem as florestas sem utilizar mais do que pode ser restituído. Todo ano, 1 por cento da madeira existente pode ser abatido, o que perfaz um total de 2 bilhões de metros cúbicos de madeira. Destes, a metade ainda é utilizada como combustível, principalmente nas nações menos desenvolvidas do mundo. Hoje, provavelmente se queima mais madeira do que antigamente, quando ela era o único combustível, mas a população mundial era bem menor. As florestas que restam são preservadas tão bem (mas não perfeitamente, aliás) somente porque a madeira não é mais o principal combustível, nem a principal fonte de energia da humanidade.

Boa parte da madeira formada nos primórdios da história da Terra não se deteriorou completamente, mas atolou-se em pântanos em condições que liberaram os outros átomos, deixando apenas o carbono. Este carbono foi soterrado e comprimido sob rochas sedimentares. Existe uma grande quantidade subterrânea que representa um tipo de madeira fossilizada que hoje se conhece como “carvão”. Trata-se de um armazenamento químico de energia produzida pelo Sol num período de centenas de milhões de anos.

Estima-se que hoje haja no mundo aproximadamente 8 trilhões de toneladas de carvão distribuídos nas mais diversas áreas. Sendo assim, o carbono contido no suprimento de carvão da Terra é duas vezes maior que o seu suprimento de organismos vivos.

Parece-nos que o carvão era queimado na China em tempos medievais. Marco Polo, visitante da corte de Kublai Khan no século XIII, informou que queimavam pedras negras como combustível, as quais só começaram a ser utilizadas mais tarde em alguns lugares da Europa, começando pelos Países Baixos.

Foi, porém, na Inglaterra que teve início o uso do carvão em larga escala. Dentro dos limites daquele reino, a diminuição das florestas se tornou séria. Não só ficava cada vez mais difícil suprir a necessidade de aquecimento das casas inglesas com a lenha de quintal e suprir o fornecimento para a indústria crescente, como também havia as exigências da marinha britânica, da qual dependia a segurança nacional.

Felizmente, para a Inglaterra, foi localizado um carvão facilmente coletável na região norte do país. Aliás, havia uma maior proliferação de carvão na Inglaterra do que em qualquer outra parte com as mesmas dimensões. Em 1660, a produção de carvão na Inglaterra era de 2 milhões de toneladas, mais de 80 por cento do carvão produzido no mundo na mesma época, o que contribuiu para que se poupassem as cada vez mais escassas e valiosas florestas. (Hoje em dia, a produção de carvão na Inglaterra chega a 150 milhões de toneladas por ano, mas isso representa apenas 5 por cento da produção mundial.)

O carvão seria especialmente útil se pudesse ser usado na fundição do ferro, pois o carvão vegetal desperdiçava tanta madeira que a mineração do ferro se tornou o maior agente da destruição florestal.

Em 1603, Hugh Platt (1552-1608) descobriu como aquecer o carvão de modo a eliminar o material nãocarbonáceo e deixar o puro carbono sob a forma de “coque”. O coque mostrou-se um admirável substituto para o carvão vegetal na fundição do ferro.

Tão logo foi aperfeiçoada a obtenção do coque, em 1709, com o trabalho do proprietário de siderúrgica Abraham Darby (1678-1717), o carvão começou a ocupar sua verdadeira posição como a principal fonte de energia do mundo. O carvão é que incentivou a Revolução Industrial na Inglaterra, pois era a combustão do carvão a responsável pelo aquecimento da água que produzia o vapor dos motores a vapor, propulsores das máquinas das fábricas, das locomotivas e dos navios. Foi o carvão da bacia do Ruhr, dos montes Apalaches e da bacia do Donetz que possibilitou a industrialização da Alemanha, dos Estados Unidos e da União Soviética, respectivamente.

A madeira e o carvão são combustíveis sólidos, mas há combustíveis líquidos e gasosos também. Os óleos vegetais eram usados como combustíveis líquidos nas luminárias, e a madeira, quando aquecida, exalava vapores inflamáveis. Na verdade, é a combinação desses vapores com o ar que faz erguer as labaredas dançantes do fogo. Os combustíveis sólidos que não produzem vapores, como o carvão vegetal e o coque, por exemplo, simplesmente incandescem.

Somente no século XVIII, porém, é que se produziram e armazenaram os vapores inflamáveis. Em 1766, o químico inglês Henry Cavendish (1731-1810) isolou e estudou o hidrogênio, o qual denominou "gás de fogo", por causa de seu teor inflamável. O hidrogênio, quando em combustão, desenvolve grande quantidade de calor — 250 calorias por grama em comparação às 62 calorias por grama da melhor categoria de carvão.

A desvantagem do hidrogênio é que ele se queima com muita rapidez e, se misturado com o ar antes da combustão, explode com força estonteante tão logo se acenda uma faísca. Uma mistura acidental pode trazer conseqüências bem sérias.

Se os tipos mais simples do carvão são aquecidos na ausência do ar, contudo, desprendem-se vapores inflamáveis ("gás de carvão") compostos de 50 por cento de hidrogênio. A outra metade é composta de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, e a mistura como um todo entra em combustão, mas a probabilidade de explodir é pequena.

O inventor escocês William Murdock (1754-1839) usou jatos de gás de carvão incandescente para iluminar sua casa em 1800, provando ser pequena a probabilidade de explosão. Em 1803, ele utilizou a iluminação a gás em sua fábrica e, por volta de 1807, as ruas de Londres começaram a ter iluminação a gás.

Nesse ínterim, vazando por entre as rochas estava um material oleoso inflamável, que veio a ser chamado de "petróleo" (palavra latina para "óleo das pedras"). Assim como o carvão é o produto de eras passadas de florestas, assim também o petróleo é o produto de eras passadas dos seres marinhos unicelulares.

Os afloramentos mais sólidos desses materiais eram conhecidos pelos povos antigos como "betume" ou "piche" e eram usados para impermeabilizar as superfícies. Os árabes e os persas tinham percebido o teor inflamável das porções líquidas.

No século XIX, procuravam-se gases, ou líquidos de fácil vaporização, para suprir a demanda de iluminação: eles constituiriam os melhoramentos que substituiriam o gás de carvão e o óleo de baleia. O petróleo era uma fonte a ser explorada; podia ser destilado, e um componente líquido, o "querosene", era ideal para lâmpadas. Era preciso um maior suprimento de petróleo.

Em Titusville, na Pensilvânia, havia vazamentos de petróleo que eram coletados e vendidos como remédio. Um maquinista chamado Edwin Laurentine Drake (1819-80) deduziu que havia um grande suprimento de petróleo subterrâneo e incumbiu-se de perfurar até encontrá-lo. Em 1859 foi bem sucedido em suas tentativas: surgiu o primeiro "poço de petróleo" produtivo, em conseqüência do qual expandiram-se as perfurações e nasceu, assim, a indústria do petróleo.

Desde então, a extração do petróleo tem aumentado anualmente. O advento do automóvel e do motor de combustão interna, os quais se movem a "gasolina" (fração líquida do petróleo de vaporização mais fácil que a do querosene), deu um enorme impulso à indústria. Há, também, algumas frações gasosas do petróleo, compostas principalmente de metano (com moléculas compostas por um único átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio), chamado "gás natural".

Com a chegada do século XX, o petróleo começou a superar o carvão e, depois da Segunda Guerra Mundial, tornou-se o principal combustível industrial do mundo. Assim, onde o carvão supria 80 por cento da demanda de energia da Europa antes da Segunda Guerra Mundial, passou a suprir apenas 15 por cento dessa demanda nos anos 70. O consumo mundial de petróleo quadruplicou desde a Segunda Guerra Mundial, e hoje chega ao índice de 60 milhões de barris por dia.

O total de petróleo extraído no mundo desde o primeiro poço de Drake é de 350 bilhões de barris aproximadamente, sendo que, deles, a metade foi consumida nos últimos vinte anos. Estima-se que o suprimento total de petróleo ainda não extraído seja de 660 bilhões aproximadamente e, de acordo com o nível atual de consumo, ele não deve durar mais que 33 anos.

Eis um problema sério. Em termos de disponibilidade e quantidade, o petróleo *é* o combustível mais conveniente já descoberto pelo homem. É fácil de se obter, transportar, refinar e utilizar — não apenas para energia, mas como fonte de uma ampla variedade de materiais orgânicos sintéticos, como as tintas, as drogas, as fibras e os plásticos. A industrialização se alastra pelo mundo em grande escala, graças ao petróleo.

Para mudar do petróleo para qualquer outra fonte energética, enfrentar-se-ão tremendos problemas e necessitar-se-á de grande investimento de capital — o que, contudo, certamente será inevitável. Tal como se apresentam, o aumento constante do consumo e o prognóstico de uma queda inevitável na produção *tèm* elevado o preço do petróleo vertiginosamente nos anos 70, o que vem alterando a economia mundial num nível perturbador. Em 1990, a produção de petróleo deverá estar aquém da demanda e, se não surgirem outras fontes energéticas, o mundo enfrentará uma crise. Assim serão aguçados todos os perigos do esgotamento de recursos e da poluição da água e do ar, ao mesmo tempo em que a escassez de energia no lar, na fábrica e nas fazendas aumentará o problema da carência de calor, comodidades e até de alimento.

Portanto, parece despropositado temermos catástrofes em termos do universo, do Sol ou da Terra; não temos por que temer os buracos negros e as invasões extraterrenas. Em vez disso, devemos questionar se ainda nesta geração o suprimento de energia disponível atingirá um pico e começará a decair, embora tenha aumentado continuamente através da história humana.

Devemos questionar, também, se isso não irá pôr um fim à civilização humana, gerar uma guerra nuclear devastadora e acabar com a esperança de salvação da humanidade.

Dentre as catástrofes já discutidas, esta é a que enfrentamos de forma mais iminente.

ENERGIA: A NOVA

Apesar de o prognóstico da falta de energia poder ser concebido como sendo iminente e horrível, não chega a ser inevitável. É uma catástrofe provocada pelo homem e, portanto, sujeita a um adiamento ou anulação por parte do homem.

Como no caso do esgotamento de outros recursos, também aqui há contra-ataques possíveis.

Em primeiro lugar, há a preservação. Há duzentos anos a humanidade tem tido a sorte de contar com energia fácil e barata, que tem seus efeitos colaterais menos favoráveis. Tem havido poucos motivos que levem à preservação e muita tentação de entregar-se a um consumo exagerado.

Mas a era da energia barata findou (pelo menos por enquanto). Os Estados Unidos, por exemplo, não são mais autosuficientes em termos de petróleo. Sua produção petrolífera é bem superior à de qualquer nação, mas precisamente por esse motivo suas reservas minguam rapidamente, à medida em que o nível de consumo nacional continua a crescer.

Isso significa que os Estados Unidos precisam importar cada vez mais petróleo. O que impõe um desvio na direção do comércio, pressiona duramente o dólar, favorece a inflação e, de forma geral, prejudica a posição econômica americana.

A preservação, portanto, não é apenas desejável, como também absolutamente necessária para nós.

Há muitos campos em que é possível a conservação de energia, a começar pelos maiores esbanjadores de energia: as diversas máquinas militares do mundo. Como não há guerra sem suicídio, a manutenção de máquinas bélicas a custos astronômicos de energia é loucura, especialmente porque a principal fonte energética do mundo está minguando.

Além da preservação imediata do petróleo, há possibilidades evidentes de se aumentar a eficiência com que se extraí o petróleo de poços já existentes, para que os poços secos possam, até certo ponto, jorrar novamente.

Pode também haver um aumento na eficiência com que se extrai a energia da queima do petróleo (ou do combustível em geral). No momento, a queima de combustível produz explosões que acionam as partes de um motor de combustão interna; ou converte a água em vapor, cuja pressão gira uma turbina para produzir eletricidade. Nesses dispositivos, apenas de 25 a 40 por cento da energia é transformada em trabalho útil; o restante se perde como calor desperdiçado. Há pouca esperança de que a eficiência aumente significativamente.

Entretanto, há outras estratégias. A queima do combustível pode aquecer os gases até que os átomos e as moléculas se transformem em fragmentos eletrícamente carregados que podem ser impulsionados para um campo magnético, produzindo, assim, uma corrente elétrica. Os processos “magneto-hidrodinâmicos” (MHD) são mais eficientes do que quaisquer técnicas

convencionais.

Teoricamente, é até possível produzir eletricidade pela combinação do combustível com o oxigênio em uma pilha elétrica, sem a produção intermediária de calor. Assim se alcançam facilmente eficiências de *15* por cento, podendo-se até atingir o nível de 100 por cento. Até hoje, nenhuma "pilha de combustível" foi inventada, mas as dificuldades que se interpõem a isso podem ser superadas.

Aliás, novos poços de petróleo podem ser descobertos. A história da última metade de século é uma história de sucessivas previsões de esgotamento do petróleo que nunca se realizaram. Antes da Segunda Guerra Mundial, percebeu-se que a produção de petróleo teria um ápice e entraria em declínio nos anos 40; após a guerra, a data foi transferida para os anos 60; hoje, a data foi transferida para 1990. Será que ela sempre será transferida?

Seguramente não podemos contar com isso. O que contribui para o adiamento desse cálculo é a descoberta de novos recursos petrolíferos de tempos em tempos. A maior delas deu-se após a Segunda Guerra Mundial, no Oriente Médio, surpreendendo a todos pela sua imensidade. Atualmente, 60 por cento das reservas de petróleo conhecidas concentram-se em uma pequena área situada na proximidade do golfo Pérsico (coincidentemente, o berço da civilização humana).

Não é provável que venhamos novamente a encontrar riqueza tão grande. A cada década, mais a Terra é varrida em busca de petróleo com técnicas cada vez mais sofisticadas. Encontramos *um* pouco ao norte do Alasca, um pouco mais no mar do Norte, estamos sondando detalhadamente as plataformas continentais — mas chegará o dia, muito brevemente, em que não haverá mais petróleo a ser encontrado.

Mesmo que possamos fazer algo por meio da preservação — aumentar a eficiência e encontrar novos poços de petróleo —, parece inevitável que no início do século XXI encontremos poços praticamente secos. E então?

Pode-se obter o petróleo a partir de outras fontes que não os poços; há a possibilidade de encontrá-lo nos interstícios de materiais subterrâneos de onde se pode extraí-lo com relativa facilidade. Há rochas, chamadas "argilitos", a que está associado um material orgânico, como o piche, chamado "querogênío". Quando o argilito é aquecido, as moléculas do querogênio se rompem e obtém-se uma substância parecida com o petróleo bruto. A quantidade de petróleo de argilito na crosta terrestre deve ser 3.000 vezes maior que a quantidade de petróleo de poço. Um só campo petrolífero de argilito no oeste dos Estados Unidos deve conter sete vezes a quantidade de petróleo do Oriente Médio.

O problema é que o argilito tem que ser minerado, aquecido, e o petróleo produzido teria que ser refinado com métodos diversos dos que se utilizam hoje (e observe-se que mesmo o argilito mais rico produziria apenas dois barris por tonelada de rocha). Em seguida, o argilito teria que ser descartado. As dificuldades e os gastos são altos demais, e o petróleo de poço ainda está disponível e não justifica tamanho emprego de capital. No futuro, porém, à medida em que declinar o petróleo de poço, o petróleo de argilito servirá para quebrar o galho (por um preço mais alto, é claro).

Depois, logicamente, há o carvão. O carvão foi a fonte de energia principal, antes de o

petróleo substituí-lo, e ainda está à disposição.

Costuma-se dizer que o carvão da Terra é suficiente para permitir que o consumo energético atual mantenha o mesmo nível por milhares de anos.

Porém, nem todo o carvão pode ser obtido com as técnicas atuais de mineração. Mesmo assim, de um ponto de vista bastante conservador, o carvão deve durar algumas centenas de anos e, até lá, novas técnicas de mineração já se terão desenvolvido.

Por outro lado, a mineração é um perigo. Há explosões, sufocamentos, desmoronamentos. O trabalho físico é árduo e os mineiros morrem de doenças pulmonares. O processo de mineração tende a destruir e poluir a terra à volta da mina e produz um cenário de miséria e desolação. Uma vez minerado, o carvão tem que ser transportado — tarefa mais árdua que o bombeamento de petróleo em um oleoduto. O carvão é muito mais difícil de ser trabalhado e de inflamar do que o petróleo, e solta uma cinza densa e uma fumaça poluente (a menos que se empreguem técnicas de limpeza do carvão antes de utilizá-lo).

Mesmo assim, podemos esperar que o carvão seja tratado com técnicas novas e mais sofisticadas. A terra pode recuperar seu estado original após a mineração. (Deve-se lembrar que isso custa tempo, trabalho e dinheiro.) Além disso, muito se pode fazer na própria mina com a finalidade de evitar o gasto e o problema de transporte de carga.

Por exemplo, pode-se queimar o carvão na própria mina, para produzir eletricidade mediante técnicas magneto-hidrodinâmicas. Nesse caso, é a eletricidade que deve ser transportada, e não o carvão.

Ademais, o carvão pode ser aquecido na mina para liberar gases, incluindo o monóxido de carbono, o metano e o hidrogênio. Estes podem ser tratados de modo a se produzirem os equivalentes ao gás natural, à gasolina e a outros derivados do petróleo. O óleo e o gás é que serão transportados em vez do carvão, e as minas de carvão transformar-se-ão em nossos novos poços de petróleo.

Mesmo o carvão que tem que ser usado como carvão, na fabricação do ferro e do aço, por exemplo, pode ser utilizado com maior eficiência.

Pode ser reduzido a pó, talvez, e ser transportado, inflamado e controlado quase tão facilmente quanto o próprio petróleo.

Com o argilito e o carvão, poderíamos muito bem ter petróleo mesmo depois de os poços secarem, e manter o estado atual de nossa tecnologia durante séculos.

Há, porém, uma séria dificuldade quando se depende do petróleo e do carvão, por mais avançadas que sejam nossas técnicas. Esses “combustíveis fósseis” jazem no subsolo há centenas de milhões de anos, e representam muitas toneladas de carvão que não adentrou a atmosfera durante todo esse tempo.

Hoje queimamos esses combustíveis fósseis com uma taxa cada vez mais alta, convertendo o carbono em dióxido de carbono e eliminando-o na atmosfera. Parte dele se dissolverá no oceano. Parte será absorvida pela planta cujo crescimento for incentivado por sua presença. Outra parte, porém, permanecerá no ar, aumentando o teor de dióxido de carbono da atmosfera.

Desde 1900, por exemplo, o dióxido de carbono da atmosfera aumentou de 0,029 para 0,032 por cento. Calculase que no ano 2000 a concentração atinja a marca de 0,038 por cento, um aumento equivalente a 30 por cento num século. Isso deve ser conseqüência, pelo menos em parte, da queima de combustíveis fósseis, embora possa se dever, em parte, à eliminação das florestas, mais eficientes do que qualquer outro tipo de vegetação enquanto absorventes de dióxido de carbono.

Na verdade, o aumento do dióxido de carbono na atmosfera não é tão grande. Mesmo que o processo da queima de combustíveis fósseis persista e se acelere, calcula-se que a máxima concentração que atingiremos será de 0,115 por cento. Nem isso chegaria a impedir nossa respiração.

Mas não *é* com a respiração que devemos nos preocupar. Não é preciso um grande aumento na concentração de dióxido de carbono para intensificar o efeito de estufa. A temperatura média da Terra poderá ser 1 grau centígrado mais alta no ano 2000 do que em 1900 por causa do dióxido de carbono adicionado[{64}]. Precisaria muito mais que isso para se atingir o ponto em que o clima terrestre fosse afetado seriamente e em que as calotas polares começassem a degelar, causando resultados desastrosos nas planícies continentais.

Sempre há, na verdade, aqueles que apresentam o fato de que, se o dióxido de carbono aumentar além de determinado nível, a ligeira elevação na temperatura média do mar fará com que o dióxido de carbono se desprenda da solução com a água, o que acentuará o efeito de estufa, aumentando ainda mais a temperatura do mar, eliminando mais dióxido de carbono, e assim por diante.

Esse "efeito encadeado de estufa" pode elevar a temperatura da Terra acima do ponto de ebulição da água e torná-la inabitável — o que configuraria uma catástrofe causada pela queima de combustíveis fósseis.

Há considerações de que um certo período de efeito de estufa moderado deixou drásticas conseqüências no passado terrestre.

Aproximadamente há 75 milhões de anos, as placas tectônicas alteraram a crosta terrestre a ponto de causar a drenagem de alguns mares rasos. Esses mares eram particularmente ricos em algas, que serviam para absorver o dióxido de carbono do ar. À medida em que os mares desapareciam, a quantidade de algas ia diminuindo, o mesmo acontecendo com a absorção de dióxido de carbono. Com isso, houve um aumento do dióxido de carbono na atmosfera, e a Terra foi se aquecendo.

Os animais de grande porte são os que mais sofrem com a perda de calor corpóreo, pois é-lhes difícil a adaptação interna ao frio. Em particular, os espermatozóides, especialmente sensíveis ao calor, devem ter sido prejudicados na época, causando a perda de fertilidade nos animais de grande porte. Pode ser que a extinção dos dinossauros tenha ocorrido em função disso.

Será que um destino desses — autopunitivo — nos aguarda?

Em outros casos, afins, confiei no auxílio de avanços tecnológicos para prevenir ou evitar a catástrofe, e podemos conceber a idéia de que a humanidade será capaz de tratar a atmosfera eliminando o excesso de dióxido de carbono. Entretanto, se o efeito encadeado de estufa vier,

é provável que venha tão cedo que custa-nos imaginar um avanço tecnológico tão rápido que nos salve. (O mesmo não ocorre em relação a catástrofes como uma futura era glacial ou o Sol em expansão.) Pode ser que os projetos de pesquisa de novos poços de petróleo, ou de sua substituição pelo argilito e o carvão, sejam problemas sem importância prática; pode ser que exista um limite para o nível de queima do combustível fóssil (de qualquer tipo e fonte) sem que se corra o risco de uma catástrofe de estufa. Isso nos deixa alternativas, ou só nos resta o desespero de esperar até que a civilização se arruine de um jeito ou de outro dentro de mais um século?

Há alternativas. Temos as velhas fontes de energia conhecidas pela humanidade antes que os combustíveis fósseis entrassem em cena. Temos nossos músculos e os dos animais. Temos o vento, a água corrente, as marés, o calor interno da Terra, a madeira. Nenhum desses chega a poluir com conseqüências graves, e todos são renováveis e inesgotáveis. Além disso, podem ser utilizados de formas mais sofisticadas que as antigas.

Por exemplo, não precisamos abater as árvores feito loucos para queimá-las e produzir calor ou carvão vegetal para a fabricação de aço.

Podemos produzir safras especiais, escolhidas por sua velocidade na absorção do dióxido de carbono e estruturação de tecidos em função disso ("bio-massa"). Podemos queimar essas safras diretamente ou, melhor ainda, plantar tipos específicos dos quais possamos extrair o óleo inflamável ou que possamos fermentar e transformar em álcool. Esses combustíveis produzidos naturalmente podem ajudar a pôr em marcha nossas futuras fábricas e automóveis.

A grande vantagem dos combustíveis vegetais é que não envolvem a constante liberação de dióxido de carbono no ar. O combustível se produz a partir do dióxido de carbono absorvido meses ou anos antes, e que simplesmente está sendo devolvido à atmosfera de onde se originou recentemente.

Uma vez mais, moinhos de vento ou equivalentes poderiam ser construídos e funcionariam com muito mais eficiência que as estruturas medievais de que se originaram; muito mais energia seria extraída do ar.

Antigamente, as correntes e marés eram utilizadas somente para deslocar os navios dos portos. Hoje podem ser utilizadas para encher reservatórios, e estes, por ocasião da maré vazante, estariam produzindo uma queda de água que giraria uma turbina e produziria eletricidade. Nas áreas em que o calor interno da Terra fica próximo à superfície, ele poderia ser canalizado e utilizado para mover uma turbina e gerar eletricidade. Foi até sugerido o uso da diferença de temperatura da água à tona e no fundo do oceano tropical, ou a energia incessante das ondas dos mares, para gerar eletricidade.

Todas essas formas de energia são seguras e constantes. Não produzem poluição perigosa e sempre se renovarão enquanto durarem a Terra e o Sol.

No entanto, não são abundantes. Isto é, nem isoladas nem juntas elas conseguem suprir toda a demanda de energia tão bem quanto o petróleo e o carvão nos últimos dois séculos. Isso não significa que não têm importância.

Para começar, em dado lugar e hora, para determinado propósito, cada uma delas pode ser a forma de energia mais conveniente possível. E todas juntas podem servir para prolongar o

emprego de combustíveis fósseis.

Com todas essas outras formas disponíveis de energia, a queima de combustíveis fósseis pode continuar num nível que não coloque a vida em perigo, e isso pode prosseguir por muito tempo. Durante todo esse tempo, pode-se desenvolver uma forma de energia que seja segura, incessante e abundante.

Eis a primeira questão: existe energia que comporte todas essas características? E a resposta: sim!

ENERGIA: A ABUNDANTE

Somente cinco anos após a descoberta da radioatividade pelo físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908), em 1896, é que Pierre Curie mediu o calor liberado pelo rádio, ao romper-se. Esta foi a primeira indicação que se teve-de que em algum lugar do átomo havia energia de cuja existência nem se suspeitava.

Imediatamente começou-se a averiguar a possibilidade de essa energia ser aproveitada. O inglês H. G. Wells, escritor de ficção científica, especulou sobre a possível existência daquilo que denominou “bombas atômicas”, tão logo fora anunciada a descoberta de Curie.

Tornou-se evidente, porém, que, para essa energia atômica (ou, mais propriamente dita, “energia nuclear”, por ser a energia que mantinha a unidade do núcleo atômico e não envolvia os elétrons externos responsáveis pelas reações químicas) ser liberada, era necessário incluí-la nos átomos. O átomo tinha que ser bombardeado com partículas subatômicas energéticas carregadas positivamente. Poucas atingiam o núcleo e, dentro delas, poucas superavam a repulsão do núcleo carregado positivamente e alteravam seu conteúdo, causando a liberação de energia. O resultado foi a constatação da necessidade de entrada de mais energia do que a que se conseguiria obter, o que fez do aproveitamento da energia nuclear um sonho inútil.

Em 1932, porém, uma nova partícula subatômica foi descoberta por James Chadwick (1891-1974). Por não ter carga elétrica, ele a chamou de “nêutron” e, por não ter carga elétrica, ela chegava até o núcleo atômico carregado eletrícamente sem ser repelida. Não se requeria muita energia, portanto, para que o nêutron colidisse com o núcleo atômico e o adentrasse.

O nêutron logo se tornou o “projétil” subatômico favorito, e, em 1934, o físico italiano Enrico Fermi (1901-54) bombardeou átomos com nêutrons, de modo a transformá-los em átomos de elementos superiores na tabela periódica dos elementos. O urânio era o elemento 92. Não se conhecia o elemento 93, e Fermi bombardeou o urânio tencionando compor o elemento desconhecido.

Os resultados foram confusos. Outros físicos reaplicaram o experimento e tentaram imprimir-lhe um sentido, principalmente o físico alemão Otto Hahn (1879-1968) e sua colega austríaca Lise Meitner (1878-1968). Foi Meitner quem descobriu, em 1938, que o urânio, ao ser atingido por um nêutron, dividia-se em dois (“fissão do urânio”).

Ela encontrava-se exilada na Suécia na ocasião, pois sua condição de judia a forçara a abandonar a Alemanha nazista. Transmitiu suas idéias ao físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), no início de 1939, e ele as trouxe para os Estados Unidos.

O físico húngaro-americano Leo Szilard (1898-1964) percebeu o significado disso. O átomo de urânio, ao sofrer a fissão, liberava muita energia para um átomo só, muito mais que a energia do nêutron lento que o atingira. Além disso, ao sofrer a fissão, o átomo de urânio liberava dois ou três nêutrons, cada um dos quais poderia estar atingindo um átomo de urânio, que sofreria a fissão, liberaria dois ou três nêutrons cada um, e todos esses poderiam atingir um átomo de urânio, e assim por diante.

Numa minúscula fração de segundo, a "reação em cadeia" resultante poderia criar uma enorme explosão às custas do nêutron inicial, que poderia estar vagando pelo ar sem que o tivessem colocado lá.

Ele convenceu os cientistas americanos a guardarem segredo de sua pesquisa (pois a Alemanha estava prestes a iniciar sua guerra contra o mundo civilizado), e então persuadiu o Presidente Roosevelt a patrocinar o trabalho, pedindo a Albert Einstein que escrevesse uma carta sobre o assunto. Antes do término da Segunda Guerra Mundial, três bombas de fissão de urânio haviam sido construídas. Uma delas foi testada em Alamogordo, no Novo México, em 16 de julho de 1945, e passou no teste com êxito. As outras duas foram atiradas no Japão.

Enquanto isso, porém, os cientistas haviam concebido um modo de o urânio sofrer fissão sob condições controladas. O grau de fissão atingiu um nível seguro e pôde ser mantido nesse nível indefinidamente. Seria produzido um calor suficiente para duplicar o trabalho que o carvão ou o petróleo fariam, e ainda se produziria a eletricidade.

Nos anos 50, foram instaladas usinas elétricas movidas a fissão de urânio nos Estados Unidos, na Grã-Bretanha e na União Soviética. Desde então, esses "reatores de fissão nuclear" multiplicaram-se por diversas nações, e muito contribuem para a satisfação da demanda de energia do mundo.

Esses reatores de fissão nuclear apresentam algumas vantagens. Para começar, pesado por pesado, o urânio produz muito mais energia que a queima do carvão ou do petróleo. Aliás, apesar de o urânio não ser um metal comum, estima-se que o suprimento mundial fornecerá de dez a cem vezes mais energia do que suas reservas de combustível fóssil.

Uma das razões para o urânio não ser mais útil é que há dois tipos de urânio, dos quais só um sofre fissão. Os tipos são o urânio 238 e o urânio 235; somente o último sofre fissão, quando bombardeado por nêutrons lentos. Acontece que o urânio 235 perfaz apenas 0,7 por cento do urânio encontrado na natureza.

Todavia, é possível esboçar um reator de fissão nuclear de modo que o centro de fissão seja rodeado pelo urânio 238, ou pelo metal tório 232, que é parecido. Os nêutrons que escapam do centro atingirão os átomos de urânio ou tório e, não lhes imprimindo a fissão, transformá-los-ão em outros tipos de átomos, que, sob condições adequadas, fissionarão. Esse reator produz combustível na forma de plutônio 239 ou urânio 233, passíveis de fissão, mesmo que o combustível de urânio 235 seja consumido lentamente. Aliás, ele produz mais combustível do que consome e chama-se, por isso, "reator de produção".

Até hoje, quase nenhum reator de fissão nuclear em uso é produtor, mas alguns foram construídos já em 1951 e outros o podem ser a qualquer hora. Com o uso dos reatores de produção, todo o urânio e o tório do mundo podem ser fissionados e fornecer energia. Desse modo, a humanidade terá à sua disposição uma fonte energética pelo menos 3 000 vezes maior que todo o armazenamento de combustível fóssil.

Utilizando os reatores de fissão nuclear comum, a humanidade terá um armazenamento energético que deverá durar muitos séculos, mantendo-se o grau de utilização atual. Com os reatores de produção, o armazenamento energético durará centenas de milhares de anos — tempo mais que suficiente para que se projete uma melhor estratégia bem antes de ele se esgotar. Além disso, os reatores de fissão nuclear, quer comuns ou produtores, não liberam dióxido de carbono nem qualquer outra forma de poluição química do ar.

Com tantas vantagens, que desvantagens pode haver? Para começar, o urânio e o tório estão bem espalhados pela crosta terrestre e é difícil encontrá-los e concentrá-los. Talvez apenas uma pequena fração do tório e do urânio existentes possa ser utilizada. Em segundo lugar, os reatores de fissão nuclear são dispositivos caros, de difícil manutenção e conserto. Em terceiro, mais importante de tudo, os reatores de fissão nuclear apresentam um tipo novo e letal de poluição — a radiação intensiva.

Quando o átomo de urânio sofre a fissão, ele produz uma série de átomos menores, que são muito mais radioativos que o próprio urânio. Essa radioatividade só cai para um nível seguro com muita lentidão; no caso de alguns tipos, só após milhares de anos. Esse "resíduo radioativo" é altamente perigoso, pois suas radiações matam com a mesma presteza de uma bomba nuclear, mas muito mais insidiosamente. Se a demanda de energia pela humanidade fosse suprida exclusivamente por reatores de fissão, a quantidade de radioatividade presente no resíduo produzido anualmente seria equivalente a milhões de explosões de bomba de fissão.

O resíduo radioativo tem que ser armazenado em um local seguro, para não invadir o meio ambiente e aí permanecer durante milhares de anos.

Pode ser armazenado num recipiente de aço inoxidável, ou misturado com vidro derretido para depois solidificar. Os recipientes ou o vidro podem ser armazenados em minas de sal subterrâneas, na Antártida, em sedimentos do fundo do mar, e assim por diante. Até hoje, já foram propostos inúmeros métodos de armazenamento, todos com certo grau de confiabilidade, mas nenhum que fosse seguro o suficiente para convencer a todos.

Além disso, pode ser que um reator de fissão nuclear saia de controle.

O reator é projetado para não explodir, mas são empregadas grandes quantidades de material de fissão; se a reação se acelerar além do ponto de fusão seguro, o núcleo se aquecerá até derreter e atravessar a membrana de proteção, fazendo com que uma radiação mortal invada uma grande região.

Os reatores de produção são vistos como mais fatais porque o combustível empregado geralmente é o plutônio, que é mais radioativo que o urânio e conserva essa radioatividade por centenas de milhares de anos. Ele é considerado a substância mais perigosa (nesses termos) sobre a face da Terra e teme-se que, se o plutônio se tornar muito comum, ele pode invadir o meio ambiente e literalmente envenenar a Terra, tornando-a inabitável.

Teme-se também que o plutônio possa incentivar a eficiência do terrorismo. Se os terroristas arranjassem um suprimento de plutônio, poderiam chantagear o mundo com ameaças de explosão ou envenenamento.

Seria uma arma muito mais eficaz do que as que têm à disposição atualmente.

Nada nos garante que isso jamais acontecerá e, conseqüentemente, mais objeções são impostas à construção de reatores de fissão nuclear. A força da fissão nuclear tem se expandido muito mais lentamente do que se esperava nos anos 50, quando foi empregada em meio a previsões de uma nova era de energia em abundância.

Ainda assim, a fissão é o único caminho que leva à energia nuclear.

No universo em geral, a principal fonte de energia é fornecida pela fusão do núcleo de hidrogênio (o mais simples que há) em núcleo de hélio (o segundo mais simples). É a fusão do hidrogênio que supre de energia as estrelas, conforme apontado pelo físico germano-americano Hans Albrecht Bethe (1906-) em 1938.

Após a Segunda Guerra Mundial, os físicos tentaram produzir a fusão do hidrogênio em laboratório. Para isso, precisaram de temperaturas elevadíssimas, e tiveram que prender o gás de hidrogênio enquanto o aqueciam a essas temperaturas. O Sol e as outras estrelas prendiam seus núcleos por meio de intensíssimos campos gravitacionais, o que não podia ser obtido na Terra.

Uma saída foi elevar a temperatura do hidrogênio com tanta rapidez que não houvesse tempo de ele se expandir e se espalhar antes de se aquecer a ponto de fundir-se. Uma bomba de fissão nuclear cuidaria disso; em 1952 foi explodida uma bomba nos Estados Unidos em que o urânio em fissão liberou o hidrogênio em fusão. A União Soviética imediatamente desenvolveu a sua.

Essa “bomba de” fusão nuclear” ou “bomba de hidrogênio” era muito mais poderosa que as bombas de fissão, e nunca foi usada em guerras. Pelo fato de exigirem altas temperaturas para seu funcionamento, as bombas de fusão são também chamadas de “bombas termonucleares”, e considero seu emprego em uma “guerra termonuclear” o possível gerador de uma catástrofe do quarto grau.

Mas será que a fusão do hidrogênio pode ser controlada e fornecer energia com a mesma tranqüilidade da fissão do urânio? O físico inglês John David Lawson (1923-) enunciou os requisitos em 1957. O hidrogênio deveria ter determinada densidade, atingir determinada temperatura e mantê-la por algum tempo. Qualquer diminuição ou queda de uma dessas propriedades requer o aumento de uma ou das outras duas. Desde então, cientistas dos Estados Unidos, da Grã-Bretanha e da União Soviética têm procurado encontrar essas condições.

Há três tipos de átomos de hidrogênio: o hidrogênio 1, o hidrogênio 2 e o hidrogênio 3. O hidrogênio 2 chama-se “deutério” e o hidrogênio 3, “trítio”. O hidrogênio 2 funde a uma temperatura mais baixa que o hidrogênio 1, e o hidrogênio 3, a uma temperatura ainda mais baixa (embora a temperatura mais baixa para a fusão esteja nas dezenas de milhões de graus, para as condições terrestres).

O hidrogênio 3 é um átomo radioativo que mal se encontra na natureza. Pode ser obtido em laboratório, mas só é utilizável em pequena escala. Portanto, o hidrogênio 2 é o principal

combustível de fusão, e adiciona-se um pouco de hidrogênio 3 para baixar a temperatura de fusão.

O hidrogênio 2 *é* muito mais raro que o hidrogênio 1. De cada 100.000 átomos de hidrogênio, somente quinze são hidrogênio 2. Mesmo assim, em um galão de água do mar há hidrogênio 2 bastante para representar a energia que se obtém com a queima de 350 galões de gasolina. E o oceano (onde dois de cada três átomos são hidrogênio) é tão extenso que contém hidrogênio 2 em quantidade suficiente para produzir a energia que hoje o mundo emprega por bilhões de anos.

Há vários aspectos que fazem com que a fusão nuclear seja preferida à fissão nuclear. Por exemplo, pela fusão obtém-se dez vezes mais energia do que pela fissão, e o hidrogênio 2, combustível de fusão, é mais facilmente obtido do que o urânio ou o tório, e mais fácil de se lidar. Uma vez iniciada a fusão do hidrogênio 2, somente quantidades microscópicas dele serão utilizadas de cada vez, de modo que, se a fusão se descontrolar e todo o material fundível se for, a conseqüência será uma explosão de pequenas proporções, quase imperceptível. Além do mais, a fusão do hidrogênio não produz resíduos radioativos. Seu produto principal, o hélio, é a substância mais inócua que se conhece. No decorrer da fusão, produzem-se nêutrons e o hidrogênio 3, sendo ambos perigosos. Porém, são produzidos em menor quantidade e podem ser reciclados e empregados no decorrer da fusão ulterior.

Em todos os aspectos, portanto, a fusão nuclear pareceria ser a fonte ideal de energia. Mas o problema é que ainda não a temos. Apesar das tentativas, os cientistas ainda não conseguiram prender o hidrogênio em dado recipiente, mantê-lo a dada temperatura, durante dado período de tempo que lhe permitisse fundir sob condições controladas.

Os cientistas estão abordando o problema de diversas maneiras.

Campos magnéticos fortes e cuidadosamente projetados mantêm unidos os fragmentos carregados, enquanto se eleva a temperatura lentamente. Ou então a temperatura é elevada rapidamente, não com bombas de fissão, mas com raios *laser* ou com feixes de elétrons. Parece haver uma certa probabilidade de que um desses métodos funcione nos anos 80, ou, quem sabe, os três, e que a fusão controlada em laboratório seja um fato. Pode demorar algumas décadas até que sejam construídas grandes usinas de fusão que venham a debelar a carência energética da humanidade.

Deixando-se de lado a fusão do hidrogênio, há, contudo, outra fonte de energia abundante, que é segura e permanente: trata-se da radiação solar.

Dois por cento da energia solar mantêm a fotossíntese de toda a vegetação da Terra e, com isso, toda a vida animal. O restante da energia solar é pelo menos 10 000 vezes superior à demanda humana de energia. Essa porção maior da radiação solar é extremamente útil. Ela evapora o oceano e produz a chuva, a água corrente e o suprimento de água fresca da Terra em geral.

Ela mantém as correntes marítimas e o vento. Aquece a Terra e a torna habitável.

Entretanto, não há razão para que os homens não possam utilizar a radiação solar em primeiro lugar. Quando o fazemos, o resultado é que a radiação se transforma em calor e nada se perde. Seria como entrar numa cachoeira: a água continuaria a atingir o solo e correr rio

abaixo, mas nós a teríamos interceptado, temporariamente, para nos refrescarmos ou nos banharmos.

Há uma dificuldade primordial na energia solar. Embora abundante, é diluída. Espalha-se por uma área muito extensa; coletá-la e utilizá-la seria difícil.

Em pequena escala, a energia solar tem sido utilizada há muito tempo.

No inverno, as janelas voltadas para o sul deixam entrar o sol e são relativamente opacas à reirradiação da luz infravermelha — assim, a casa se aquece pelo efeito de estufa e precisa de menos combustível.

Pode-se conseguir muito mais com esse modelo. As caixas d'água instaladas no declive sul do telhado (declive norte, no caso do hemisfério sul) podem absorver o calor do Sol e suprir uma casa com uma fonte permanente de água quente. O mesmo poderia ser utilizado para aquecer a casa em geral ou, por outro lado, para refrigerá-la no verão. Ou pode-se converter diretamente a radiação em eletricidade, bastando para isso expor pilhas solares à luz do Sol.

A propósito, a luz solar não está indefinidamente disponível. À noite, ela não existe e, mesmo durante o dia, as nuvens podem reduzir a luz a níveis inaproveitáveis. Há também o fato de que em várias horas do dia a casa pode estar à sombra de outra casa, ou de objetos naturais, como árvores e colinas.

Nem há meios totalmente adequados para armazenar a energia solar em períodos de luz para uso em períodos de escuridão.

Se cabe à energia solar pôr o mundo em ação, antes de cuidarmos de casas isoladas aqui e ali, seria necessário cobrir dezenas de milhares de quilômetros quadrados de desertos com pilhas, o que seria oneroso em termos de instalação e manutenção.

É possível, contudo, coletar a energia solar, não na superfície terrestre, mas no espaço vizinho. Uma ampla plataforma de pilhas solares posta em órbita no plano equatorial cerca de 33 000 quilômetros acima da superfície terrestre circularia a Terra em 24 horas. Essa é uma "órbita sincrônica", e a estação espacial pareceria imóvel em relação à superfície terrestre.

Essa plataforma de pilhas solares seria exposta à carga total da radiação solar sem qualquer interferência atmosférica. Ela estaria na sombra da Terra somente 2 por cento do tempo no curso de um ano, reduzindo assim grandemente a necessidade de armazenamento de energia. Estima-se que uma dada área de pilhas solares em órbita sincrônica produziria sessenta vezes mais eletricidade do que a mesma área na superfície terrestre.

A eletricidade formada na estação espacial seria convertida em radiação de microondas, e irradiada para uma estação receptora na Terra e, aqui, reconvertida em eletricidade. Cem dessas estações distribuídas pelo plano equatorial representariam uma fonte de energia abundante que duraria tanto quanto o Sol.

Se olharmos para o futuro na suposição de que os seres humanos cooperarão para garantir a sobrevivência, talvez lá por 2020 não só contaremos com usinas de fusão nuclear em operação, como também com as primeiras usinas geradoras de energia solar do espaço. Certamente nos agüentaremos até 2020 utilizando-nos de combustíveis fósseis e outras fontes energéticas. Com paz e boa vontade, pois, a crise de energia que ora nos aflige pode acabar por revelar-se inócua a longo prazo. Ademais, a exploração do espaço em relação a usinas

solares espaciais propiciaria bem mais que isso. Laboratórios e observatórios também serão construídos no espaço, juntamente com as colônias espaciais que abrigarão seus construtores. Haverá estações de mineração na Lua que suprirão a maior parte dos recursos materiais necessários para as edificações espaciais (embora o carbono, o nitrogênio e o hidrogênio ainda tenham que ser enviados da Terra por algum tempo).

Finalmente, boa parte do parque industrial terrestre será transportado para o espaço, os asteróides serão cavados, a humanidade começará a se expandir pelo sistema solar e, quem sabe, até em direção às estrelas. Tal quadro leva a supor que todos os problemas serão resolvidos — exceto que a própria vitória trará problemas. Será com as possíveis catástrofes derivadas da vitória que me ocuparei no capítulo final.

15 — OS RISCOS DA VITÓRIA

POPULAÇÃO

Se imaginarmos uma sociedade pacífica, com energia abundante e, por conseguinte, com copiosa capacidade de reciclar suas riquezas e avançar sua tecnologia, deveremos também imaginar que essa sociedade tirará proveito das recompensas de sua vitória sobre o ambiente. A recompensa mais óbvia será precisamente a que vem sendo experimentada como resultado de vitórias semelhantes no passado: o crescimento da população.

A espécie humana, como todas as espécies vivas que já existiram na Terra, tem a capacidade de incrementar rapidamente seus números. Não é impossível para uma mulher ter, digamos, dezesseis filhos durante os anos em que ela é capaz de procriar. (Registraram-se casos de mulheres que geraram mais de trinta crianças.) Isso significa que, se começarmos com duas pessoas, um homem e sua esposa, teremos um total de dezoito pessoas ao fim de trinta anos. Os filhos mais velhos podem, nessa época, ter se casado entre si (se imaginarmos uma sociedade que permita o incesto) e gerado mais umas dez crianças. De dois a 28, portanto — um aumento de catorze vezes em trinta anos. A essa taxa de crescimento, o par de seres humanos original terse-ia multiplicado para 100 milhões em dois séculos.

Entretanto, a população humana não cresce a uma taxa dessas, e nunca foi assim, por dois motivos. Em primeiro lugar, o número de nascimentos não é de dezesseis para cada mulher, mas sim uma média bastante inferior a essa, por diversas razões. Em outras palavras, o coeficiente de natalidade geralmente cai abaixo do seu potencial máximo.

Em segundo lugar, estou admitindo que todas as pessoas que nascem permanecem vivas, o que, logicamente, não é verdade. Todos devem morrer: muito freqüentemente, antes de procriarem tanto quanto poderiam; às vezes, antes de chegarem a gerar uma vida que seja.

Em resumo, há um coeficiente de mortalidade além do de natalidade e, para a maioria das espécies, os dois geralmente se equiparam.

Se, a longo prazo, o coeficiente de mortalidade e o de natalidade permanecem iguais, então a população de qualquer espécie em questão permanece constante; se, porém, o coeficiente de mortalidade supera o de natalidade, mesmo que só ligeiramente, então a espécie míngua em número e, um dia, se extingue. Se o coeficiente de natalidade ultrapassa mesmo que só ligeiramente o coeficiente de mortalidade, então a espécie aumenta em número constantemente.

O coeficiente de mortalidade em qualquer espécie tende a subir se o meio ambiente, por qualquer razão, se torna desfavorável a ela, e a cair se ele se torna favorável. A população de qualquer espécie tende a crescer em épocas de “vacas gordas” e a minguar em épocas de “vacas magras”.

Somente os seres humanos, dentre todas as espécies que já habitaram a Terra, tiveram a inteligência e a oportunidade de alterar seu meio ambiente radicalmente, de modo a favorecerem a si próprios. Por exemplo, eles melhoraram seu clima pelo uso do fogo; aumentaram seu suprimento alimentar com o deliberado cultivo de plantas e com a pecuária; com a invenção de armas, reduziram o perigo oferecido por predadores, e, pelo desenvolvimento da medicina, reduziram o perigo dos parasitos. O resultado foi que a humanidade vem conseguindo manter um coeficiente de natalidade que, *grosso modo,* tem sido mais alto que o coeficiente de mortalidade desde que o *Homo sapiens* apareceu no planeta.

Em 6000 a.C, quando a agricultura e a pecuária ainda estavam na infância, a população humana total na Terra aumentara para 10 milhões. Ao tempo da construção da Grande Pirâmide, provavelmente já girava em torno de 40 milhões; no tempo de Homero, 100 milhões; no de Colombo, 500 milhões; na época de Napoleão, somavam-se 1 bilhão; na de Lênin, 2 bilhões. E agora, na década de 1970, a população humana alcançou a marca de 4 bilhões.

Como a tecnologia tende a ser cumulativa, a taxa pela qual a humanidade vem aumentando seu predomínio sobre o meio ambiente e sobre formas de vida competidoras e a taxa pela qual a segurança física vem avançando têm aumentado progressivamente. Isso significa que a disparidade entre o coeficiente de natalidade e o de mortalidade tem progressivamente favorecido o primeiro. Isso, por sua vez, significa que a população humana não só está crescendo, como também o faz a uma taxa de constante elevação.

Nos milênios precedentes à agricultura, quando os seres humanos viviam da caça e da coleta de comida, o suprimento alimentar era parco e incerto, e a humanidade só podia aumentar seus números pela ocupação de áreas mais vastas da face da Terra. A taxa de crescimento populacional deve, então, ter sido menor que 0,02 por cento ao ano, e deve ter levado mais de 35.000 anos para a população humana se duplicar.

Com o desenvolvimento da agricultura e da pecuária e a conseqüente garantia de um suprimento alimentar mais estável e abundante, a taxa de crescimento populacional começou a subir, atingindo 0,3 por cento ao ano em 1700 (um período de duplicação de 230 anos) e 0,5 por cento ao ano em 1800 (um período de duplicação de 140 anos).

O advento da Revolução Industrial, da mecanização da agricultura e do rápido desenvolvimento da medicina, expandiu ainda mais a taxa de crescimento populacional, chegando a 1 por cento ao ano em 1900 (um período de duplicação de setenta anos) e 2 por cento ao ano na década de 70 (um período de duplicação de 35 anos).

O aumento da população *e* da taxa de crescimento populacional multiplica a taxa pela qual novas bocas são adicionadas à humanidade.

Assim, em 1800, quando o total populacional era de 1 bilhão e a taxa de crescimento era 0,5 por cento ao ano, isso significava 5 milhões de novas bocas a serem alimentadas a cada ano. Na década de 70, com uma população de 4 bilhões e uma taxa de crescimento de 2 por cento ao ano, há 80 milhões de novas bocas a serem alimentadas a cada ano. Em 170 anos, a população quadruplicou, enquanto os números adicionais anuais foram multiplicados por dezesseis.

Embora isso tudo seja prova do triunfo humano sobre o ambiente, é também uma terrível ameaça. Uma população em declínio pode definhar indefinidamente até alcançar a marca decisiva do zero. Uma população crescente, todavia, não pode, *em hipótese alguma,* continuar a crescer indefinidamente. Chegará o dia em que uma população crescente tomará a dianteira e superará de muito seu suprimento alimentar, as exigências ambientais e seu espaço vital, e, então, com uma velocidade que bem poderia ser catastrófica, a situação se inverteria, dando início a uma queda acentuada da população.

Esse incremento populacional seguido de um declínio foi observado em muitas outras formas de vida, que se multiplicaram excessivamente numa sucessão de anos em que o clima e outros aspectos do ambiente, por sorte, favoreceram seu crescimento — apenas para morrer às pencas quando as inevitáveis secas fizeram um corte em seu suprimento de comida.

Esse é o destino que também faz face à humanidade. A mesma vitória que aumenta nossa população nos elevará a uma altura da qual não teremos outra opção que não o tombo — e quanto maior a altura, maior o tombo.

Podemos contar com os avanços tecnológicos para afastar o mal do futuro como já ocorreu no passado? Não, pois é fácil demonstrar com certeza absoluta que a atual taxa de crescimento populacional, *caso se mantenha,* facilmente superará não apenas qualquer avanço tecnológico provável como qualquer avanço tecnológico concebivel.

Comecemos pelo fato de que a população terrestre é de 4 bilhões em 1979 (um pouquinho maior, na realidade) e que sua taxa de crescimento é (e continuará a ser) 2 por cento ao ano. Poderíamos dizer que uma população humana de 4 bilhões já é muito alta para a Terra, quanto mais qualquer número superior a isso. Cerca de 500 milhões de pessoas, um oitavo do total (a maioria delas na África e na Ásia), são crônica e seriamente subnutridas, e centenas de milhares morrem de fome a cada ano. Além disso, as pressões para se produzir mais comida a cada ano para alimentar mais bocas vêm forçando os seres humanos a cultivar terras inférteis, usar pesticidas, fertilizantes e irrigação sem planejamento, prejudicando mais drasticamente o equilíbrio ecológico da Terra. Em conseqüência, o solo está se erodindo, os desertos se alastrando e a produção de alimentos (que vem crescendo com a população — e até mais rápido — nestas últimas desesperadas décadas de explosão populacional) chegando a um ápice, de onde só pode sofrer um declínio. Nesse caso, a miséria deverá se alastrar cada vez mais.

Por outro lado, poder-se-ia argumentar que a escassez de alimentos é provocada pelo homem, resultado de ineficiência, desperdício, ganância e injustiça. Com governos melhores e mais humanitários, com um uso da terra mais sensato, com padrões de vida mais frugais, com distribuição de comida mais eqüitativa, a Terra poderia sustentar uma população bem maior que a de hoje sem sobrecarregar indevidamente sua capacidade. A estimativa mais alta já concebida é 50 bilhões, doze vezes e meia o total populacional atual.

Nos atuais 2 por cento de crescimento ao ano, no entanto, a população terrestre duplicará a cada 35 anos. Em 2014, ela estará na marca dos 8 bilhões; em 2049, na dos 16 bilhões, e assim por diante. Isso significa que, à atual taxa de crescimento, a população da Terra será de 50 bilhões em 2100, daqui a somente 120 anos. E então? Se nessa altura já tivermos superado o suprimento de comida, a decadência será muito mais que catastrófica.

É claro que em 120 anos a tecnologia humana terá elaborado novas formas de alimentar a humanidade — exterminando todas as outras formas de vida animal, cultivando plantas que serão 100 por cento comestíveis e vivendo delas sem competição. Dessa maneira, a Terra poderia ser levada a sustentar 1,2 trilhão, trezentas vezes a população atual. E, contudo, à atual taxa de crescimento, a população de 1,2 trilhão será alcançada em 2280, daqui a somente trezentos anos. E então?

É, de fato, inútil argumentar que há números específicos de pessoas que podemos sustentar por meio deste ou daquele avanço tecnológico. Uma progressão geométrica (tal como o crescimento populacional) pode superar qualquer número. Analisemos esse fato.

Suponhamos que o peso médio de um ser humano (incluindo-se mulheres e crianças) seja de 45 quilos. Nesse caso, a massa da humanidade vivendo agora na Terra seria de 180 milhões de quilos. Este peso dobraria a cada 35 anos com a duplicação do total da população. A esta taxa de crescimento, caso seja levado a extremos, em 1 800 anos a massa total da humanidade igualaria a massa total da Terra. (Isso não é um lapso de tempo longo. Passaram-se apenas 1 800 anos desde o império de Marco Aurélio.) Ninguém consegue imaginar que a humanidade na Terra possa multiplicar seus números até que a bola do planeta seja pura carne e sangue humanos. Isso quer dizer, pois, que, *não importa o que façamos,* não podemos manter nossa atual taxa de crescimento populacional na Terra por mais de 1 800 anos.

Mas por que nos restringirmos à Terra? Bem antes de passados 1 800 anos, a humanidade terá chegado a outros mundos e construído comunidades espaciais artificiais, e ambos poderiam acomodar nossos números crescentes.

Poder-se-ia, mesmo, afirmar que, espalhando-nos pelo universo, a massa total de carne e sangue humanos poderia até, um dia, exceder a massa da Terra. E, mesmo assim, isso não pode suportar a força de uma progressão geométrica.

O Sol é 330 000 vezes mais maciço que a Terra, e a galáxia é 150 bilhões de vezes mais maciça que o Sol. Podem existir, ao todo, até 100 bilhões de galáxias no universo. Se supusermos que a galáxia média é tão maciça quanto a nossa (quase certamente uma superestimativa, mas não importa), então a massa total do universo é 5 000 000 000 000 000 000 000 000 000 vezes maior que a da Terra. E, contudo, se a atual população humana continuar a crescer a invariáveis 2 por cento ao ano, a massa total de carne e sangue humanos igualará a massa do universo em pouco mais de 5 000 anos. Isso é mais ou menos o tempo que transcorreu desde a invenção da escrita.

Em outras palavras, durante os primeiros 5 000 anos de história escrita, atingimos o estágio onde, de algum modo, nos apinhamos sobre a superfície de um pequeno planeta. Durante os próximos 5 000 anos, à atual taxa de crescimento, esgotaremos os recursos não só desse planeta, mas de todo o universo.

Segue-se, pois, que, se é para evitarmos o esgotamento de nossos suprimentos alimentares, nossas riquezas, nosso espaço, devemos deter a atual taxa de crescimento populacional em menos de 5 000 anos, mesmo se nos imaginarmos avançando nossa tecnologia aos limites mais extremos da fantasia. E, se é para sermos honestamente realistas sobre isso, poderemos ter uma possibilidade apenas razoável de evitar uma catástrofe do quinto grau se começarmos a reduzir a taxa de crescimento populacional *agora!*

Mas como? É realmente um problema, pois, em toda a história da vida, nenhuma espécie tentou controlar seus números voluntariamente[65]. Nem mesmo a espécie humana tentou isso. Ela tem, sim, até hoje, dado nascimento a novas gerações livremente e aumentado seus números ao limite do possível.

Para controlar a população agora, a disparidade entre os coeficientes de natalidade e mortalidade deve de algum jeito ser reduzida e a crescente predominância do primeiro sobre o segundo deve declinar. Para obtermos uma população estacionaria ou até temporariamente decrescente, temos só duas alternativas: ou o coeficiente de mortalidade deve ser aumentado até compensar ou exceder o de natalidade, ou o coeficiente de natalidade deve ser rebaixado até compensar ou ficar menor que o de mortalidade[66].

Aumentar o coeficiente de mortalidade é a alternativa mais fácil.

Entre todas as espécies de plantas e animais, através de toda a história da vida, um aumento súbito e dramático no coeficiente de mortalidade vem sendo a resposta habitual a um crescimento populacional, que, a longo prazo, levou a espécie até um nível insuportavelmente alto. O coeficiente de mortalidade aumenta principalmente como resultado de inanição. O enfraquecimento que precede a morte por inanição facilita que os indivíduos da espécie se tornem vítimas de doenças e da predação também.

No caso de seres humanos na história passada, o mesmo pode ser dito e, se olharmos para o futuro, poderemos contar com o exercício de um controle populacional (se tudo o mais falhar) por meio de doenças, inanição e violência — todas seguidas de morte. Que isso não é uma idéia nova pode ser atestado pelo fato de que esses quatro — inanição, doenças, violências e morte — são os Quatro Cavaleiros do Apocalipse descritos no Livro do Apocalipse como flageladores da humanidade em seus últimos dias.

Fica claro, todavia, que resolver o problema populacional pelo aumento do coeficiente de mortalidade é simplesmente preparar o terreno para uma catástrofe do quinto grau em que a civilização é arrasada. Se, na disputa pelas últimas porções de comida e pelas últimas reservas de recursos terrestres, uma guerra termonuclear for provocada como medida desesperada, uma catástrofe do quarto grau pode resultar, dando cabo da humanidade.

Resta-nos, pois, o rebaixamento do coeficiente de natalidade como a única maneira de evitarmos a catástrofe. Mas como?

O controle do coeficiente de natalidade após o fato consumado da procriação, como no infanticídio ou mesmo no aborto, repugna a muita gente. Ainda que não se leve em conta a questão da “sacralidade da vida” (princípio sempre professado mais da boca para fora), poderíamos nos perguntar por que uma mulher deveria ter que passar pelo incômodo de uma gravidez apenas para ter seu resultado destruído, ou por que ela deveria ter que passar pelo incômodo de um aborto? Por que não simplesmente evitar a concepção?

Uma forma simplória de evitar a concepção é evitar o sexo, mas tudo indica que isso nunca será um método popular de controle de natalidade. Em vez disso, faz-se necessário desligar sexo de concepção, fazendo com que seja possível ter-se o primeiro sem o segundo, exceto quando os filhos são realmente desejados e onde eles são necessários para manter um nível tolerável de população.

Como medidas preventivas anticoncepcionais existem vários métodos diferentes (cirúrgicos, mecânicos, químicos), todos bem conhecidos e exigindo apenas a precaução de serem usados inteligentemente. E há, além de tudo, variedades de atividades sexuais bem conhecidas que são plenamente apreciadas e praticadas e que não causam nenhum mal perceptível a seus praticantes e a ninguém mais, e que não apresentam a mínima possibilidade de provocar a concepção.

Não há, portanto, nenhuma dificuldade prática no rebaixar o coeficiente de natalidade — somente dificuldades sociais e psicológicas. A sociedade há muito se acostumou com um excesso de crianças (devido ao alto coeficiente de mortalidade entre elas), tanto que, em muitos lugares, a economia e, em quase todos os lugares, a psicologia individual dependem dele. Os anticoncepcionais são ferozmente combatidos por muitos grupos conservadores como sendo imorais e, tradicionalmente, ainda se considera uma bênção a possibilidade de uma família ter vários filhos.

O que acontecerá então? Sendo que a salvação é possível, será que a humanidade se exporá à catástrofe simplesmente por estar habituada a uma forma de pensamento antiquado? É bem capaz que isso seja exatamente o que pode vir a acontecer. E, no entanto, mais e mais pessoas (como eu, inclusive) vêm falando e escrevendo sobre o perigo populacional e sobre a visível destruição do meio ambiente provocada pela crescente humanidade e pelas crescentes demandas da população por mais comida, mais energia e mais conforto. Progressivamente, pois, líderes governamentais começam a reconhecer que *nenhum* problema pode ser solucionado enquanto o problema populacional não for resolvido e que *todas* as causas serão causas perdidas enquanto a população continuar a crescer. Resulta que vem surgindo um crescente apelo, sob uma ou outra forma, por um rebaixamento do coeficiente de natalidade. Isso é um sinal extraordinariamente esperançoso, pois nada é mais poderoso que a pressão social.

Aparentemente, à medida em que os anos 70 se encaminhavam para seu fim, o coeficiente de natalidade no mundo *estava* declinando, e a taxa de crescimento populacional caiu de 2 para 1,8 por cento. É claro que isso não basta, porque no momento atual *qualquer* aumento trará consigo uma inevitável catástrofe, se esse aumento continuar. De qualquer modo, o decréscimo aviva nossas esperanças.

Pode ser, então, que, embora a população continue a aumentar, o faça em grau decrescente, alcance um máximo de talvez 8 bilhões e então diminua. O processo criará bastantes problemas, mas é possível que a civilização suporte a tempestade e que a humanidade, bastante sofrida, ainda sobreviva, repare os estragos provocados na Terra e seu equilíbrio ecológico, e reconstrua uma cultura mais sábia e mais prática, baseada num número estável de habitantes mantido a um nível tolerável.

EDUCAÇÃO

Podemos, assim, visualizar um tempo — digamos, daqui a cem anos — em que o problema populacional será solucionado, a energia será barata e abundante, e a humanidade reciclará suas riquezas e se manterá em paz e serenidade. Certamente, então, todos os problemas estarão resolvidos e todas as catástrofes, evitadas.

Não necessariamente. Cada solução obtida compulsoriamente traz entremeados com a vitória seus próprios problemas. Um mundo em que a população é controlada é um mundo em que o coeficiente de natalidade é tão baixo quanto o de mortalidade; como, graças à medicina moderna, o coeficiente de mortalidade é hoje bem mais baixo que em qualquer época passada, assim deve ser ,o coeficiente de natalidade. Isso significa que numa base percentual haverá menos bebês e jovens do que antes, e um número superior de adultos e velhos. Na verdade, se imaginarmos que a tecnologia médica continuará a se desenvolver, o tempo de vida médio poderá continuar a aumentar. Isso significaria que o coeficiente de mortalidade continuaria a cair — e o coeficiente de natalidade teria que cair com ele.

O tipo de sociedade que devemos antever, então, se nos estiver reservado constituir uma população estável, é uma sociedade com uma crescente idade mediana. Testemunharemos, digamos assim, o “engrisalhamento da Terra”. Podemos mesmo ver isso acontecendo nas partes do mundo onde o coeficiente de natalidade caiu e a expectativa de vida aumentou — nos Estados Unidos, por exemplo.

Em 1900, quando a expectativa de vida nos Estados Unidos era de apenas quarenta anos, havia 3,1 milhões de pessoas com mais de 65 anos dentre um total de 77 milhões de habitantes (apenas 4 por cento). Em 1940, em uma população de 134 milhões, 9 milhões tinham mais de 65 anos (isso representava 6,7 por cento). Em 1970, dentre 208 milhões de habitantes dos Estados Unidos, contavam-se 20,2 milhões de pessoas com mais de 65 anos (10 por cento). No ano 2000, poder-se-á, talvez, contar 29 milhões de pessoas acima de 65 anos numa população de cerca de 240 milhões (12 por cento). Em cem anos, a população provavelmente terá mais que triplicado, ao passo que o número de seus representantes acima de 65 anos de idade terá quase se multiplicado por dez.

O efeito sobre a política e a economia americana é evidente. Os idosos são uma parte cada vez mais forte do eleitorado, e as instituições políticas e financeiras da nação devem se preocupar cada vez mais com pensões, previdência social, seguros médicos, e assim por diante.

Naturalmente, todos querem ter uma vida longa e todos querem ser bem cuidados quando envelhecerem; do ponto de vista da civilização como um todo, entretanto, poderia haver um problema aí. Se, como resultado da estabilização da população, desenvolvermos uma humanidade idosa, será que o espírito, a aventura e a imaginação dos jovens não minguariam e morreriam sob o conservadorismo fastidioso e a plenitude da idade? Será que o encargo da inovação e audácia não ficaria nas mãos de tão poucos que o peso morto dos velhos acabaria com a civilização? Será que a civilização, tendo escapado à morte pelo ímpeto de uma explosão demográfica, não se veria condenada à morte pela lamúria de uma população em decadência?

Mas será que a idade e o tédio estão necessariamente entrelaçados? A nossa é a primeira sociedade a tomar isso por verdade absoluta, por ser a primeira sociedade em que os idosos

se tornaram supérfluos. Em sociedades semi-analfabetas que não mantinham registros escritos, os velhos eram os repositórios e guardiães das tradições, enciclopédias vivas, oráculos.

Atualmente, contudo, prescindimos das memórias dos velhos, pois temos formas bem melhores de manter registros. O resultado é que os idosos perdem sua função e seu poder sobre nós.

Antigamente, nas sociedades em que a tecnologia mudava vagarosamente, era com o velho artesão, rico em experiências e conhecimento, que contávamos: seus olhos experientes, o julgamento perspicaz e o bom serviço. Agora, a tecnologia muda rapidamente e é o formando universitário de olhar sagaz que queremos, esperando que ele ponha em prática as técnicas mais recentes. Para abrir caminho para ele, aposentamos compulsoriamente os velhos e, de novo, a idade perde sua função. E, à medida em que o número dos idosos sem função aumenta, eles realmente vão parecendo um peso morto. Mas tem que ser assim?

Vive-se hoje, em média, duas vezes mais que nossos ancestrais de um século e meio atrás. A longa vida, todavia, não é a única mudança. As pessoas hoje são mais saudáveis e fortes, em média, em qualquer idade, do que foram seus ancestrais na mesma idade.

As pessoas não só morriam jovens nos dias anteriores à medicina moderna; muitos deles também ficavam visivelmente velhos aos trinta anos.

Viver esse tanto, ou mais, significava ter que sobreviver a repetidos acometimentos de doenças infecciosas, que, agora, prevenimos ou curamos facilmente. Significava viver na base de dietas deficientes, quantitativa e qualitativamente. Não havia meios para se combater os males dos dentes ou infecções crônicas, nem modos de melhorar os efeitos de disfunções hormonais ou deficiências vitamínicas, nem modos de agir contra dúzias de outras incapacidades. Para completar o quadro, muitas pessoas tinham que se exaurir com infindáveis trabalhos pesados hoje executados para nós por máquinas[67].

Resulta que as pessoas idosas de hoje são vigorosas e jovens, comparadas às de mesma idade dos dias medievais da cavalaria e até dos pioneiros dos Estados Unidos.

Podemos supor que essa tendência para maximizar a saúde do velho continuará a agir no futuro se a civilização sobreviver e a tecnologia médica avançar. Os próprios conceitos de “juventude” e “velhice” poderão se tornar um tanto indistintos para a população estável que vier a se instalar. Mas, mesmo se a diferença física entre jovens e velhos diminuir, que pensar das diferenças mentais? Será que algo pode ser feito a respeito da estagnação da idade e sua incapacidade de aceitar mudanças criativas?

Porém, quanto dessa estagnação é criado pelas tradições de uma sociedade centrada na juventude? Apesar da gradual extensão do período de escolaridade, a educação continua a ser associada com a juventude e a apresentar um tipo de data limite. Persiste a forte crença de que há um tempo em que uma educação *é completada* e que esse tempo não se coloca tardiamente na vida do indivíduo.

Num certo sentido, isso imprime uma aura de desgraça à educação. A maioria dos jovens que se enfadam sob a disciplina formalizada pela escola e sob o aborrecimento de professores incompetentes não pode deixar de perceber que os adultos não precisam ir à escola. Certamente, deve parecer ao jovem rebelde que uma das recompensas da idade adulta é a de

livrar-se dos grilhões educacionais. Para ele, o ideal de sair da infância é alcançar um estado em que nunca mais tenha que aprender qualquer coisa.

A natureza da educação de hoje inevitavelmente faz com que ela seja vista como o castigo da juventude, o que determina seu fracasso. O jovem que abandona a escola prematuramente para pegar qualquer serviço aparece aos olhos de seus colegas como alguém que recebeu um "diploma de adulto".

Por outro lado, o adulto que tenta aprender alguma coisa nova geralmente é visto por muitos com certa hilaridade por estar como que traindo uma infantilidade íntima.

Ao equacionarmos a educação somente com a juventude e socialmente dificultarmos à pessoa média o acesso ao ensino após passados seus dias de escolaridade formal, asseguramos que a maior parte das pessoas é deixada com nada mais que a informação e as atitudes adquiridas na adolescência, e que são, depois disso, apenas vagamente recordadas — e aí reclamamos do tédio da velhice.

Essa falha da educação com respeito ao indivíduo pode ser obscurecida por outra falha que diz respeito à sociedade como um todo. Pode ser que toda a sociedade venha a ser forçada a parar de aprender. Será possível que o progresso do conhecimento humano seja forçado a parar simplesmente por causa de seu próprio êxito? Aprendemos tanto que ficanos difícil perceber o que necessitamos saber dentre todo o conhecimento possível, e essa informação pode ser crucial para a continuidade de nosso desenvolvimento. E, se a humanidade não mais conseguir continuar sua marcha rumo ao avanço científico e tecnológico, não estaremos impedidos de manter nossa civilização de pé? Será este um outro risco da vitória?

Poderíamos sintetizar o perigo dizendo que à soma total do conhecimento humano falta uma catalogação e que não há um método eficaz de recuperação da memória. Como corrigir isso a não ser por *um* sistema de memória suprahumano para servir como catálogo e um sistema de recuperação mais rápido que o humano para utilizar esse catálogo?

Em resumo, precisamos de um computador; há quase quarenta anos vimos desenvolvendo computadores melhores, mais rápidos, mais compactos e mais versáteis em ritmo aceleradíssimo. Essa tendência deve persistir se a civilização continuar mentalmente sã e, nesse caso, a computação *do* conhecimento será imprescindível. Cada vez mais informações serão gravadas em microfilmes e se tornarão mais acessíveis pelo computador.

Haverá uma tendência para centralizar informações, de modo que uma requisição de determinados itens pode usufruir dos recursos de todas as bibliotecas de uma região, ou de uma nação e, quem sabe, do mundo.

Finalmente, haverá o equivalente de uma Biblioteca Computada Global, na qual todo o conhecimento da humanidade será armazenado e de onde qualquer item desse total poderá ser retirado por requisição.

A maneira pela qual essa biblioteca seria utilizada não é mistério nenhum; a técnica para isso já está sendo elaborada. Já temos satélites de comunicação que possibilitam a ligação de quaisquer dois pontos do globo numa fração de segundo.

No entanto, os satélites de comunicação atuais dependem de ondas de rádio para essas interligações, e o número de canais possíveis de que eles dispõem é bastante limitado. Nas

gerações futuras desses satélites, utilizar-se-á o *laser,* fazendo-se uso da luz visível e da radiação ultravioleta para as interconexões. (O primeiro *laser* foi construído recentemente, em 1960, pelo físico americano Theodore Harold Maiman (1927-).) Os comprimentos de onda de luz visível e radiação ultravioleta são milhões de vezes mais curtos que os das ondas de rádio; assim, os raios *laser* poderiam propiciar milhões de vezes o número de canais produzidos pelas ondas de rádio.

Chegaria um tempo, pois, em que a cada ser humano caberia um canal de televisão específico, ligado a uma saída de computador, que seria sua conexão com o conhecimento mundial total. O equivalente de um aparelho de televisão mostraria o material desenhado numa tela ou o reproduziria em filme ou papel — cotações do mercado de ações, notícias do dia, oportunidades de compra, um jornal ou partes dele, uma revista ou um livro.

A Biblioteca Computada Global seria essencial para estudiosos e pesquisadores, mas isso representaria uma fração minoritária de seu uso. Ela representaria uma enorme revolução na educação e, pela primeira vez, oferecer-nos-ia um esquema de educação verdadeiramente aberto a todas as pessoas de todas as idades.

No final das contas as pessoas *querem* aprender. Elas possuem um cérebro que pesa 1,5 quilo e que exige ocupação constante para impedir a dolorosa doença do tédio. Na falta de qualquer coisa melhor ou mais gratificante, ele pode ser preenchido pelas imagens sem propósito de programas de televisão de baixa qualidade ou pelos sons sem sentido de gravações de baixa qualidade.

Até esse material pobre é preferível a escolas tal como se constituem atualmente, onde os alunos são massificadamente obrigados a digerir certos assuntos estereotipados em certas velocidades ditadas, sem qualquer consideração pelo que o indivíduo deseja saber e pela velocidade de sua capacidade de absorção da informação.

Que tal, porém, se existisse um dispositivo na habitação de cada um, dispositivo esse que transmitiria a ele ou a ela exatamente a informação desejada: como fazer uma coleção de selos, como consertar cercas, como fazer pão, como fazer amor, detalhes das vidas privadas dos reis da Inglaterra, as regras do futebol americano, a história do teatro? Que tal se tudo isso fosse apresentado com interminável paciência, com interminável repetição, se necessário, e na hora e lugar escolhidos pelo aprendiz?

E se, tendo assimilado certo assunto, o aprendiz requisitasse algo mais avançado ou diverso? E se algum item da informação recebida despertasse um súbito e novo interesse, desviando completamente a atenção do aprendiz?

E por que não? Certamente cada vez mais pessoas seguiriam esse caminho fácil e natural de satisfazer suas curiosidades e necessidades de saber. E cada pessoa, à medida em que fosse educada segundo seus próprios interesses, poderia então começar a fazer suas contribuições. Aquele que tivesse um novo pensamento ou observação de qualquer tipo sobre qualquer campo, poderia apresentá-lo, e se ele ainda não constasse na biblioteca, seria mantido à espera de confirmação e, possivelmente, acabaria sendo incorporado. Cada pessoa seria simultaneamente um professor e um aprendiz.

Tendo a biblioteca suprema por máquina de ensinar suprema, será que o professor-aprendiz

perderia toda a motivação para a interação humana?

Será que a civilização desenvolveria uma enorme comunidade de seres isolados, extinguindo a si própria dessa maneira?

Será? Nenhuma máquina de ensinar poderia substituir o contato humano em todas as áreas. Em atletismo, na oratória, nas artes dramáticas, nas explorações, na dança, na prática do sexo — nenhuma quantidade de material escrito substituiria a prática, embora a teoria pudesse aprimorá-la.

As pessoas ainda interagiriam — e com mais ardor e prazer, pois saberiam o que estariam fazendo.

De fato, podemos confiar em que cada ser humano possui um instinto missionário relacionado a qualquer assunto em que ele ou ela esteja ardentemente interessado(a). O entusiasta por xadrez tenta motivar o interesse dos outros por xadrez; o mesmo pode ser dito, analogamente, sobre pescadores, dançarinos, químicos, historiadores, corredores, antiquários e outros. O indivíduo que, lidando com a máquina de ensinar, descobre, por exemplo, o fascínio de tecer, ou da história do vestuário, ou de moedas romanas, provavelmente faria um esforço obstinado para encontrar outros de interesses afins.

E esse método de educação por computador certamente não se restringiria a determinada faixa etária. Ele poderia ser usado por qualquer um em qualquer idade, com novos interesses sendo despertados, talvez, aos sessenta anos, e outros se desvanecendo. O constante exercício da curiosidade e do pensamento manteria o cérebro tão maleável como o constante exercício físico mantém o corpo em forma. Terse-ia, assim, que o tédio não *é* condição *sine qua non* da idade avançada, pelo menos não tão cedo nem com tanta certeza.

O resultado bem poderia ser que, apesar do envelhecimento sem precedentes da população humana e da jamais vista sub-representação da juventude, o mundo da população estável seria um mundo de avanços tecnológicos rápidos e de uma incomparável intensidade de fecundação intelectual.

Mas será que mesmo a nova educação livre não poderia trazer riscos?

Com todo mundo livre para aprender o que ele ou ela deseja, será que quase todos não seguiriam o caminho das trivialidades? Quem aprenderia as coisas chatas e difíceis que são necessárias para dirigir o mundo?

No mundo de computadores do futuro, entretanto, são precisamente as coisas muito chatas que não mais precisariam ser de domínio dos seres humanos. A máquina automática se encarregaria delas. Aos seres humanos tocariam os aspectos criativos da mente, que constituiriam o domínio do prazer daqueles com eles envolvidos.

Sempre haverá quem se deleite com a matemática e a ciência, a política e os negócios, a pesquisa e o desenvolvimento. Estes ajudariam a "dirigir" o mundo, mas estariam fazendo isso com o mesmo prazer e desejo que leva outros a se ocuparem com criações arquitetônicas ou receitas culinárias.

Será que os dirigentes do mundo se enriqueceriam e oprimiriam os demais? Presumivelmente, isso continuaria sendo possível, mas pode-se torcer para que, num mundo

adequadamente dotado de computadores, a probabilidade da corrupção seja pelo menos menor, e que se reconheça que o dirigir corretamente o mundo traz mais benefícios às pessoas em geral do que a corrupção e a desordem trazem para poucos.

Surge a imagem de uma utopia. Seria um mundo em que as rivalidades nacionais seriam esquecidas e a guerra, abolida. Seria um mundo em que a raça, o sexo e a idade perderiam sua importância numa sociedade cooperativa de comunicação, automatização e computação avançadas. Seria um mundo de energia abundante e tecnologia próspera.

Mas será que até a utopia tem seus riscos? Afinal de contas, num mundo de prazer e diversão, será que a fibra dos homens não relaxaria, amaciaria e decairia? O *Homo sapiens* se desenvolveu e se fortaleceu numa atmosfera de risco e perigo contínuos. Na hora em que a Terra se convertesse num mar de rosas, será que a civilização, tendo evitado a morte pelo ímpeto de uma explosão demográfica e a morte pela lamúria de uma população em decadência, poderia ser vítima de uma morte em silêncio pelo tédio?

Talvez, sim, se a Terra fosse tudo o que existisse; parece certo, porém, que quando tal paraíso se transformasse em realidade, a Terra não seria a soma total do habitat humano. Ajudado o homem pelo rápido avanço tecnológico possibilitado pelo conhecimento computado, o espaço seria pesquisado, explorado e povoado muito mais velozmente do que hoje se poderia imaginar; serão, pois, as comunidades espaciais que representarão o novo marco da humanidade.

Nessa nova fronteira, a maior e mais infinita já vista por nós, encontrar-se-ão riscos e perigos em grande número. Por mais que a Terra se transforme em um centro de pouca estimulação, sempre haverá desafios para estimular e fortalecer a humanidade — se não na própria Terra, então na infinita fronteira do espaço.

TECNOLOGIA

Venho retratando a tecnologia como o arquiteto-mor de um mundo digno e até utópico, com baixo coeficiente de natalidade. Aliás, ao longo deste livro, tenho confiado na tecnologia como o agente principal da prevenção contra catástrofes. Entretanto, não há como negar que a tecnologia pode também ser a causa de uma catástrofe. Uma guerra termonuclear é o produto direto de uma tecnologia avançada, e é a tecnologia avançada que está agora consumindo nossos recursos e afogando-nos em poluição.

Mesmo que solucionemos todos os problemas que nos afrontam hoje em dia, parcialmente pela sanidade mental humana e parcialmente pela própria tecnologia, não há garantias de que no futuro, não nos vejamos; ameaçados por uma catástrofe provocada pelo contínuo sucesso da tecnologia.

Por exemplo, suponhamos que desenvolvamos energia abundante sem poluição química ou radioativa pela fusão nuclear ou pela própria energia solar. Essa energia abundante não poderia produzir outros tipos de poluição intimamente dependentes dela?

Segundo a primeira lei da termodinâmica, a energia não desaparece; meramente se transforma. Duas formas em que ela se pode apresentar são a luz e o som. Desde meados de 1870, quando a luz elétrica foi inventada por Edison, a noite terrestre vem gradativamente se iluminando mais, por exemplo.

Essa "poluição luminosa" é um problema relativamente secundário (exceto para os astrônomos, que, de qualquer modo, não levarão muitas décadas para transferir o cenário de suas atividades para o espaço). Mas, e o som? A vibração das partes em movimento, associada com a produção ou utilização de energia, é percebida como "barulho" — e o mundo industrial é, com efeito, um lugar barulhento. Os sons do trânsito de automóveis, de aviões levantando vôo, de ferrovias, de apitos de navios, de carros de neve nas paragens mais retiradas, de barcos a motor em lagos normalmente calmos, de vitrolas, rádio e televisão, sujeitam-nos a um barulho contínuo.

Será que ele deve piorar progressivamente até o mundo se tornar insuportável?

Não é muito provável. Muitas das fontes indesejáveis de luz e som estão sob controle estritamente humano e, se a tecnologia as produz, pode também amenizar seus efeitos. Carros elétricos, por exemplo, seriam bem menos ruidosos que carros movidos a gasolina.

Acontece, porém, que luz e som são duas coisas que sempre estiveram conosco, mesmo nos tempos pré-industriais. E as formas de energia peculiares a essa época? E a poluição de microondas?

As microondas, que são ondas de rádio de comprimento relativamente curto, foram inicialmente usadas em certa quantidade em conexão com o radar durante a Segunda Guerra Mundial. Desde então, elas vêm sendo usadas não só em instalações de radar (que estão se multiplicando), como também em fornos à base de microondas para o cozimento rápido, porque as microondas penetram a comida e aquecemna por igual em vez de aquecer lentamente de fora para dentro, como nos métodos culinários comuns.

Mas as microondas também nos penetram e são absorvidas em nosso interior. Será que a crescente incidência de microondas desviadas nas imediações de dispositivos que as utilizam poderia chegar a exercer algum efeito deletério sobre o corpo a nível molecular?

O perigo oferecido por microondas vem sendo exagerado por alguns alarmistas, o que não quer dizer que ele não exista. No futuro, se o suprimento energético da Terra vier de usinas elétricas solares no espaço, a energia será irradiada das usinas para a superfície terrestre sob a forma de microondas. Será necessário proceder com cuidado para assegurar que isso não seja calamitoso. Tudo indica que não o será, mas não se pode jurar.

Finalmente, toda energia de qualquer tipo de fato se transforma em calor. Esse é o destino final da energia. Na ausência da tecnologia humana, a Terra recebe calor do Sol. O Sol é, sem dúvida, a maior fonte de calor terrestre, mas quantidades menores vêm do interior do planeta e da radioatividade natural de sua crosta.

Enquanto os seres humanos se limitarem a usar a energia do Sol, do interior planetário e da radioatividade natural nas quantidades em que essas se acham naturalmente disponíveis, não haverá nenhum efeito global sob a formação final de calor. Em outras palavras, podemos usar a luz do Sol, a energia hidrelétrica, as marés, as diferenças de temperatura do oceano, as

fontes quentes, os ventos, e assim por diante, sem produzir qualquer calor adicional além do que seria produzido sem nossa interferência.

Se queimamos a madeira, contudo, produzimos calor mais rapidamente do que o que seria produzido mediante seu definhamento natural. Se queimamos carvão e óleo, produzimos calor onde naturalmente nenhum calor seria produzido. Se fôssemos cavar uma mina de água quente subterrânea, provocaríamos um vazamento de calor interno até a superfície numa velocidade maior que a normal.

Em todos esses casos, o calor seria adicionado ao ambiente a uma velocidade maior que a que normalmente ocorreria na ausência da tecnologia humana, e esse calor adicional teria que ser irradiado para longe da Terra, à noite. Aumentar o grau de radiação calorífica seria automaticamente elevar a temperatura média da Terra acima da que existiria na ausência da tecnologia humana, produzindo assim uma "poluição térmica".

Até o momento, toda a energia adicional por nós produzida, especialmente pela queima de combustível fóssil, não teve um efeito muito significativo sobre a temperatura média da Terra. A humanidade produz 6,6 milhões de megawatts de calor por ano, em comparação com os 120 000 milhões de megawatts produzidos anualmente pelos recursos terrestres naturais. Em outras palavras, acrescentamos apenas 1/18 000 ao total. No entanto, nosso suprimento se concentra em algumas poucas áreas relativamente restritas, e o aquecimento local em grandes cidades transforma substancialmente seu clima em relação ao que seria se as cidades fossem áreas cobertas por vegetação agreste.

Mas que dizer do futuro? A desintegração e a fusão nucleares acrescentam calor ao ambiente e têm o potencial de fazê-lo em graus muito mais altos do que o faz nossa atual queima de combustível fóssil. O uso da energia solar na superfície da Terra *não* acrescenta calor ao planeta, mas o coletá-la no espaço e irradiá-la para a Terra, sim.

Nas atuais taxas de crescimento de população e de uso *per capita,* a produção humana de energia poderia aumentar dezesseis vezes no próximo meio século, o que então representaria uma quantia igual a um milésimo do total de produção de calor. Nessa época, ela poderia começar a beirar algo que aumentaria a temperatura terrestre com efeito desastroso, derretendo as calotas polares, ou, pior, dando início a um efeito encadeado de estufa.

Mesmo se a população continuar em número baixo e constante, a energia de que necessitamos para levar adiante uma tecnologia cada vez mais avançada e complexa acrescentará sempre mais quantidades de calor à Terra, o que poderia um dia provar-se perigoso. A fim de evitar os efeitos nocivos da poluição térmica, pode-se fazer necessário definir um máximo nítido para a taxa de utilização da energia — não só na Terra, mas em cada mundo, natural ou artificial, em que os seres humanos vivam e desenvolvam sua tecnologia. Por outro lado, poder-se-iam delinear métodos para melhorar a taxa de radiação calorífica a dadas temperaturas toleráveis.

A tecnologia pode também ser perigosa em aspectos que nada têm a ver com a energia. Estamos, por exemplo, mesmo agora, gradualmente aumentando nossa capacidade de intervir no conjunto genético da vida, inclusive o de seres humanos. Na realidade, isso não é nada novo.

Desde que os seres humanos começaram a pastorear e a plantar, eles vêm deliberadamente provocando cruzamentos de modo a enfatizar as características que se descobriu serem úteis para os homens. O resultado é que as plantas cultivadas e os animais domesticados em muitos casos assumiram formas e características completamente diversas das apresentadas pelo organismo ancestral primeiramente utilizado pelos seres humanos. Os cavalos são maiores e mais velozes, as vacas dão mais leite, os carneiros dão mais lã, as galinhas põem mais ovos. Dúzias de variedades de raças úteis ou decorativas de cachorros e pombos foram criadas.

O que a ciência moderna faz, contudo, é possibilitar a criação engenhosa de características herdadas com melhor finalidade e maior velocidade.

No capítulo 11, tratei de como nossa compreensão da genética e da hereditariedade começou e nossas descobertas relativas ao papel essencial desempenhado pelo ADN.

No início da década de 70, desenvolveram-se técnicas propiciadoras da divisão de moléculas individuais de ADN em lugares específicos pela ação *enzimática.* A partir daí, elas podiam ser recombinadas. Nesse sentido, uma porção de ADN, resultante da divisão de uma célula ou organismo, podia ser recombinada com outra porção de ADN de outra célula ou organismo, mesmo se os dois organismos fossem de espécies inteiramente diversas. Por meio dessas técnicas de “recombinação de ADN”, um novo gene, capaz de dar origem a novas capacidades químicas, podia ser formado. Um organismo podia sofrer uma deliberada mutação, sendo levado a passar por uma evolução direcionada. Muito do trabalho de recombinação de ADN vem sendo executado em bactérias com o intuito básico de se descobrir os detalhes químicos primários do processo de hereditariedade genética. Há, porém, efeitos colaterais práticos e óbvios.

A diabete é uma enfermidade comum. Nos diabéticos, a produção de insulina, hormônio necessário para o processamento das moléculas de açúcar dentro das células, falha. Presumivelmente, este é o resultado de um gene defeituoso. A insulina pode ser conseguida no exterior e é obtida do pâncreas de animais sacrificados. Cada animal possui um só pâncreas, o que significa que a insulina existe em suprimento limitado e que a quantidade disponível não pode ser facilmente aumentada. Além disso, a insulina obtida dos bovinos, carneiros ou porcos não é idêntica à insulina humana.

Mas suponhamos que o gene que supervisiona a formação de insulina seja obtido de células humanas e adicionado ao equipamento genético de uma bactéria pelas técnicas de recombinação de ADN. A bactéria poderia então ser capacitada a produzir não somente insulina, mas insulina humana, e transmitiria essa capacidade a seus descendentes. Como as bactérias podem ser cultivadas em quase todas as quantidades, uma razoável porção de insulina se tornaria disponível. Em 1978, aliás, esse feito foi executado em laboratório, fazendo-se com que bactérias produzissem insulina humana.

Outros feitos semelhantes poderiam ser executados. Poderíamos planejar (modo de falar) bactérias capazes de produzir outros hormônios que não a insulina, ou fazê-los formar certos fatores sangüíneos, ou antibióticos, ou vacinas. Poderíamos planejar bactérias que fossem particularmente ativas no combinar o nitrogênio da atmosfera em compostos que fariam o solo mais fértil; ou que pudessem fazer a fotossíntese; ou que pudessem transformar palha em açúcar e óleo desperdiçado em gordura e proteínas; ou que pudessem romper o plástico; ou

que pudessem concentrar restos de metais úteis a partir do lixo ou da água do mar.

E se, no entanto, muito inadvertidamente, fosse produzida uma bactéria que pudesse causar uma doença? Poderia ser uma doença para a qual o corpo humano nunca tivesse desenvolvido defesas, pois nunca teria sido encontrada na natureza. Essa doença poderia ser meramente incômoda, ou só temporariamente debilitante, mas poderia também ser fatal, pior que a peste negra, e assolaria toda a humanidade.

A probabilidade de tal catástrofe é muito pequena, mas, só de pensá-la, um grupo de cientistas que investigava esse campo sugeriu, em 1974, que se tomassem especiais precauções para deliberadamente evitar que microrganismos mutantes adentrassem o ambiente.

Durante algum tempo, teve-se a impressão de que a tecnologia tivesse dado origem a um pesadelo até pior que o da guerra nuclear, e surgiram pressões para findar-se toda a utilização de nosso crescente conhecimento dos mecanismos da genética ("engenharia genética").

Os temores nessa direção parecem exagerados e, de modo geral, a probabilidade de obterem-se benefícios da pesquisa em engenharia genética é tão alta e a de desastre é tão baixa que seria uma tragédia desistir dos primeiros por medo do segundo.

Mesmo assim, provavelmente será um alívio para muitos se, um dia, esses experimentos genéticos, que são considerados tão arriscados (tanto como é arriscado o trabalho científico ou industrial em outros campos), forem conduzidos em laboratórios em órbita ao redor da Terra. O efeito isolante de milhares de quilômetros de vácuo interpostos entre os centros populacionais e o possível perigo reduziria os riscos incomensuravelmente.

Se a engenharia genética enquanto aplicada em bactérias parece pressagiar uma possível catástrofe, que dizer da engenharia genética aplicada diretamente em seres humanos? Isso vem provocando temores mesmo antes de as atuais técnicas genéticas terem sido desenvolvidas. Há mais de um século a medicina vem atuando no sentido de salvar vidas que, de outro modo, estariam perdidas, e, dessa forma, ela vem baixando a taxa de eliminação de genes de baixa qualidade.

Será isso sensato? Estaremos permitindo que os genes de baixa qualidade se acumulem e ajudem a deteriorar a espécie humana como um todo, até os seres humanos normais ou superiores não mais agüentarem o crescente peso de genes defeituosos na espécie como um todo?

Bem, talvez, embora seja difícil achar um modo de deixar os seres humanos sofrerem ou morrerem quando podem ser facilmente assistidos e salvos. Não importa quão seriamente os indivíduos argumentem em favor de uma política de "linha dura" nesse sentido, eles sem dúvida argumentariam menos ardentemente se fossem eles próprios ou aqueles chegados a eles a provar de seu próprio remédio[68].

Aí também a verdadeira solução poderia vir com o progresso tecnológico. O tratamento médico de defeitos congênitos é, atualmente, apenas paliativo. A insulina supre a que falta ao diabético; porém, o gene defeituoso permanece no diabético e é transmitido para seus filhos. Talvez um dia virá em que as técnicas da engenharia genética serão usadas para alterar e corrigir genes defeituosos.

Algumas pessoas temem a deterioração da espécie pelo rebaixamento do coeficiente de natalidade. O argumento é que o coeficiente de natalidade será baixado desproporcionalmente pelas pessoas com melhor educação e responsabilidade social mais alta, e, conseqüentemente, os indivíduos superiores serão uma gota no oceano de representantes inferiores.

Esse temor é acentuado pelas asserções de alguns psicólogos de que a inteligência é herdada. Eles apresentam dados que parecem demonstrar que as pessoas em melhor situação financeira são mais inteligentes que aquelas em pior situação financeira. Em particular, dizem esses psicólogos, os testes de QI mostram que os negros conseguem resultados habitualmente mais baixos que os brancos.

A implicação é que qualquer tentativa de se corrigir o que parecem ser injustiças sociais está fadada ao fracasso, porque os oprimidos são exatamente tão ignorantes quanto oprimidos e, portanto, merecem a opressão. A implicação seguinte é que o controle da natalidade deveria ser praticado mais freqüentemente pelos pobres e oprimidos porque, de qualquer modo, eles não prestam para nada.

O psicólogo inglês Cyríl Burt (1883-1971), o patrono de tais psicólogos, apresentou dados que mostravam que as classes inglesas mais altas eram mais inteligentes que as classes mais baixas, que os gentios ingleses eram mais inteligentes que os judeus ingleses, que os ingleses eram mais inteligentes que as inglesas e que, de modo geral, os ingleses eram mais inteligentes que os irlandeses. Seus dados, agora se nota, foram manipulados por ele mesmo para demonstrar resultados que estivessem de acordo com seus preconceitos.

Mesmo onde as observações parecem ser honestas, ficam consideráveis dúvidas se os testes de QI medem qualquer coisa que não a similaridade do examinando com o examinador — com o último naturalmente assumindo ser o máximo da inteligência.

E também, por toda a história, as classes mais baixas sempre criaram proles mais numerosas que as classes mais altas, assim como a classe camponesa sempre sobrepujou a classe média nesse aspecto e, igualmente, os oprimidos, em relação aos opressores. Resulta que quase todas as pessoas superiores e refinadas de nossa cultura acabam, se examinarmos suas árvores genealógicas, descendendo de pessoas que foram camponeses ou de algum modo oprimidas e, em seus dias, consideradas subumanas pelas classes altas da época.

Parece então razoável supor que, já que o coeficiente de natalidade tem que cair, se é para sobrevivermos, não precisamos nos preocupar se a queda não ocorrer perfeitamente equilibrada entre todos os grupos e classes.

A humanidade sobreviverá ao choque e provavelmente não será menos inteligente por isso.

Mais recentemente, uma nova fonte de possível deterioração nasce da nova capacidade científica de isolar ou produzir drogas naturais ou sintéticas que são narcóticas, estimulantes ou alucinógenas. Cada vez mais indivíduos normais vão sendo atraídos e ficam dependentes dessas drogas. Essa tendência aumentará até que a humanidade como um todo se tenha deteriorado além do ponto de se salvar?

Parece, todavia, que as drogas são principalmente valorizadas como métodos de escapar ao tédio ou à depressão. Já que o objetivo de qualquer sociedade sensata deveria ser reduzir o tédio e a depressão, um êxito nesse aspecto pode diminuir o perigo das drogas. O fracasso na

redução do tédio e da depressão pode produzir catástrofes independentemente das drogas.

Finalmente, as técnicas da engenharia genética podem servir para determinar a mudança, mutação e evolução humanas de modo a eliminar alguns dos perigos que tememos. Elas poderiam, na realidade, ajudar a aumentar a inteligência, acabar com genes defeituosos e incrementar várias habilidades.

Mas será que mesmo as boas intenções não poderiam dar errado? Por exemplo, uma das primeiras vitórias da engenharia genética poderia ser a de se conseguir controlar o sexo dos filhos. Será que isso não poderia atrapalhar a sociedade humana de modo radical? Já que o estereótipo das pessoas é querer meninos, será que os pais em todo o mundo não escolherão meninos em maioria esmagadora?

Isso é possível, e o primeiro resultado seria um mundo em que os homens excederiam em número as mulheres. Isso significaria que o coeficiente de natalidade cairia vertiginosamente, pois depende do número de mulheres em idade de gerar filhos e muito pouco do número de homens.

Num mundo superpovoado, isso poderia ser uma coisa boa, especialmente porque o preconceito pró-meninos parece ser mais arraigado nos países mais superpovoados.

Por outro lado, as meninas de repente valeriam muito, pois a competição por elas ficaria aguda, e pais com boa perspectiva de futuro optariam por meninas na geração seguinte como um investimento inteligente.

Em não muito tempo, perceber-se-ia que a razão um para um é a única que realmente funciona.

E os “bebês de proveta”? Em 1978, as manchetes de jornais davam a impressão de que um deles nascera, mas era apenas uma inseminação artificial, técnica há muito usada para animais domésticos. O ovo fertilizado foi implantado no útero de uma mulher e o feto teve de desenvolver-se nesse órgão.

Isso nos permite visualizar um futuro em que mulheres ocupadas com suas carreiras contribuiriam com células sexuais para serem fertilizadas e então implantadas em mães substitutas. Quando o bebê nascesse, a substituta seria paga e a criança recolhida pela mãe biológica.

Isso se populariza? Um bebê não é, afinal de contas, um simples amontoado de genes. Boa parte de seu desenvolvimento no estágio fetal depende do ambiente materno: da dieta da mãe hospedeira, da eficiência de sua placenta, dos detalhes bioquímicos de suas células e da corrente sangüínea. A mãe biológica pode não sentir que o bebê que recebe do útero de outra é realmente seu e, quando os defeitos e imperfeições (reais ou imaginados) aparecerem na criança, a mãe biológica pode não os tolerar paciente e carinhosamente, mas jogar a culpa na mãe hospedeira.

Embora a inseminação artificial exista como uma opção a mais, não será de surpreender se ela alcançar pouca aceitação popular. É claro que poderíamos ir até o fim e dispensar inclusive o útero humano. Uma vez desenvolvendo-se numa placenta artificial (o que não é impossível), células sexuais humanas fertilizadas em laboratório poderiam passar nove meses de desenvolvimento fetal em equipamentos experimentais, com misturas de nutrientes

oxigenados circulando por eles para alimentar o embrião e eliminar os detritos. Isso é que seria um verdadeiro bebê de proveta.

Os úteros não sendo usados, será que o aparelho reprodutor feminino degeneraria? Será que a espécie humana ficaria dependente de placentas artificiais e seria ameaçada pela extinção caso a tecnologia falhasse? É improvável. Modificações evolutivas não acontecem tão rapidamente. Se usássemos fábricas de reprodução durante cem gerações, os úteros femininos ainda manteriam sua funcionalidade. Além disso, é improvável que bebês de proveta venham a constituir a única forma de manutenção da espécie, mesmo sendo uma opção possível. É provável que muitas mulheres ainda prefiram o processo natural da gravidez e parto, no mínimo por terem mais certeza de a criança ser realmente delas. Elas podem também sentir que seus bebês estarão mais próximos delas por terem sido nutridos por sua corrente sangüínea e envolvidos pelo ambiente materno.

Por outro lado, há vantagens nos bebês de proveta. Os embriões em desenvolvimento estariam sob atenta observação o tempo todo. Problemas secundários poderiam ser corrigidos. Embriões com sérias deficiências poderiam ser eliminados. Algumas mulheres poderiam preferir a certeza de ter bebês saudáveis.

Pode chegar o dia em que conseguiremos detectar precisamente todos os genes em cromossomos humanos e determinar sua natureza. Poderemos então ser capazes de localizar exatamente os genes defeituosos em indivíduos e calcular a probabilidade de crianças defeituosas nascerem da união fortuita de genes defeituosos de cada um de seus progenitores.

Informados sobre sua constituição genética, os indivíduos poderão buscar companheiros com genes mais adequados aos seus, ou poderão se casar por amor, mas usar auxílio externo para as combinações de genes apropriadas. Por meio desses métodos e da modificação total de genes, a evolução humana poderia ser direcionada.

Há risco aqui de surgirem tentativas racistas de produzir combinações genéticas que apenas originem crianças altas, louras e de olhos azuis? Ou, pelo contrário, tentativas de gerar grande número de mentecaptos ignorantes, impassíveis e pacientes, para fazer o serviço do mundo e servir em seus exércitos?

Ambas as hipóteses são um tanto ingênuas. Se se admite a instalação em muitas partes do mundo de laboratórios que serão equipados para fazer engenharia genética, por que pensar que os asiáticos, por exemplo, iriam sonhar com a produção de tipos verdadeiramente nórdicos? Quanto à raça de sub-homens mentecaptos — bem, num mundo sem guerras e com automatização por computadores, o que haveria para eles fazerem?

E o *cloning* (“duplicação”)? Não poderíamos ultrapassar de vez a reprodução comum tomando uma célula do corpo de um indivíduo, homem ou mulher, e substituindo o núcleo dessa célula pelo de uma célula sexual? A célula sexual seria então estimulada a se dividir e formar um bebê que teria exatamente a constituição genética do indivíduo que foi duplicado.

Para que fazer isso? Afinal de contas, a reprodução comum é uma forma suficientemente eficaz para produzir bebês e tem a vantagem de misturar genes para produzir novas combinações.

Será que algumas pessoas iriam querer que precisamente seus genes fossem duplicados para

animar novas vidas? Talvez, mas o duplo não seria uma duplicata exata. Se você fosse duplicado, seu duplo poderia ter sua aparência, mas não se teria desenvolvido no útero de sua mãe, como você, e, após nascer, teria um ambiente social bem diferente do que você teve. Isso também não provaria ser uma forma cabível de preservar os Einsteins e os Beethovens do futuro. O duplo de um matemático poderia não desenvolver alta aptidão matemática em seu meio social; o de um músico poderia, de acordo com as circunstâncias de sua vida, se entediar com música, e assim por diante.

Em suma, muitos dos temores em relação à engenharia genética e muitos dos prenúncios da catástrofe são resultado de pensamento simplista.

Por outro lado, algumas das possíveis vantagens do *cloning,* por exemplo, são geralmente ignoradas.

Usando técnicas de engenharia genética ainda não desenvolvidas, uma célula duplicada poderia ser levada a se desenvolver de modo distorcido e, assim, produzir um coração em funcionamento, com o resto do corpo sendo apenas um vestígio. Ou um fígado poderia ser assim produzido, ou um rim, *etc.* Estes seriam então utilizados para substituir órgãos danificados ou disfuncionais no corpo do doador original da célula duplicada. O corpo aceitaria um novo órgão que, afinal de contas, foi feito a partir de sua própria constituição genética.

Igualmente, o *cloning* poderia ser usado para salvar espécies animais ameaçadas. Mas será que a evolução, dirigida ou não, significará o fim da humanidade? Talvez, se definirmos a humanidade como *Homo sapiens.* Mas é preciso? Se os seres humanos povoarem o espaço em muitas colônias espaciais artificiais-que eventualmente se separem e adentrem o universo, cada uma por si, então certamente cada uma evoluirá um tanto diversamente e, num milhão de anos, pode haver dúzias, ou centenas, ou uma miríade de espécies distintas, todas descendentes da humana, mas diferentes dela.

Até aí, melhor, porque a variedade e a diversidade só fazem fortalecer a família da espécie humana. Podemos supor que a inteligência permanecerá ou, mais provavelmente, melhorará, pois uma espécie com inteligência rebaixada não será capaz de manter a colônia e, dessa maneira, será extinta.

E se a inteligência permanecer e crescer, que importa se detalhes de aparência externa e funcionamento físico interno se modificarem?

COMPUTADORES

É possível que, à medida em que a humanidade evolui e, presumivelmente, se aperfeiçoa, outras espécies façam o mesmo? Será que essas outras espécies poderiam se igualar a nós e até nos suplantar?

Num certo sentido, igualamo-nos e suplantamos o golfinho, que já contava com um cérebro

do tamanho do humano milhões de anos antes de os seres humanos o desenvolverem. Não haveria, porém, nenhuma competição entre os cetáceos habitantes da água e os primatas habitantes da terra e foram só os seres humanos que desenvolveram uma tecnologia.

É improvável que nós mesmos permitamos a competição; ou, se o fizermos, seria na base de deixar outra espécie tão inteligente quanto a nossa juntar-se a nós na luta contra a catástrofe. E, nesse aspecto, não há saída, a menos que encorajemos a evolução de outras espécies na direção da inteligência pelo uso de técnicas de engenharia genética — o que não aconteceria antes de milhões de anos.

Mas há outro tipo de inteligência na Terra, um tipo que nada tem a ver com vida orgânica e é pura criação da humanidade. É o computador.

Já em 1822 sonhava-se com máquinas de computação capazes de resolver problemas matemáticos complicados muito mais rapidamente e com bem maior grau de confiabilidade (se adequadamente programadas) do que faziam os humanos. Foi naquele ano que o matemático inglês Charles Babbage (1792-1871) começou a construir uma máquina de computação. Ele despendeu anos em seu projeto e fracassou, não porque sua teoria fosse falha, mas porque ele apenas contava com partes mecânicas para trabalhar e estas simplesmente não eram adaptadas o suficiente para a tarefa.

Necessitava-se da eletrônica, da manipulação de partículas subatômicas, em vez do movimento de partes grosseiras. O primeiro grande computador eletrônico foi construído na Universidade da Pensilvânia durante a Segunda Guerra Mundial por John Presper Eckert, Jr. (1919-) e John William Machly (1907-), seguindo um sistema elaborado anteriormente pelo engenheiro eletrônico americano Vannevar Bush (1890-1974). Esse computador eletrônico, o ENIAC ("Computador e Integrador Numérico Eletrônico"), custou 3 milhões de dólares, continha 19 000 tubos de vácuo, pesava 30 toneladas, ocupava 450 metros quadrados de espaço e gastava tanta energia quanto uma locomotiva. Parou de operar em 1955 e foi desmontado em 1957 — totalmente ultrapassado.

Seus fracos e falíveis tubos de vácuo, que esbanjavam energia, foram substituídos por transistores *solid-state,* bem menores, menos falíveis e consumidores de muito menos energia. Com o passar dos anos, os aparelhos *solid-state* foram ficando ainda menores e menos falíveis. Finalmente, minúsculos pedaços de silicone de 6 centímetros quadrados, finos como papel, caprichosamente retocados com pequenas quantidades de outras substâncias aqui e ali, foram transformados em complexos pequenos e compactos, encaixados em minúsculos fios de alumínio e reunidos para compor microcomputadores .

No final da década de 70, qualquer um podia, com trezentos dólares, obter por entrega postal a domicílio ou em qualquer loja de bairro, um computador que não consumisse mais energia que uma lâmpada elétrica, que fosse suficientemente pequeno para ser levantado facilmente e trabalhasse vinte vezes mais rápido e com garantia milhares de vezes superior à do ENIAC.

Mais compactos, versáteis e baratos, os computadores agora estão começando a invadir o lar. A década de 80 pode vir a assistir à sua incorporação como parte tão integral da vida cotidiana quanto a televisão veio a ser na década de 50. Aliás, neste mesmo capítulo já me referi aos computadores como as máquinas de ensinar do futuro.

Até agora, o computador é um dispositivo para resolução de problemas, estritamente guiado por sua programação e capaz apenas de executar as operações mais simples — embora o faça com velocidade e paciência extraordinárias. Um tipo de inteligência rudimentar começa a se mostrar, porém, à medida em que os computadores vão se tornando capazes de autocorreção e modificação de seus programas.

Com os computadores e sua "inteligência artificial" assumindo crescentes áreas do trabalho mental rotineiro do mundo e então, talvez, o trabalho mental não tão rotineiro também, será que as mentes humanas degenerarão por falta de uso? Chegaremos até a depender totalmente de nossas máquinas? E, quando não mais possuirmos a inteligência para usá-la adequadamente, será que nossa espécie decadente verá seu fim e, com ele, o da civilização?

O mesmo problema e receio devem ter confrontado a humanidade em períodos anteriores de sua história. Pode-se imaginar, por exemplo, o desdém dos antigos construtores, quando o equivalente do metro de vara foi posto em uso. Será que o olho experiente e o julgamento treinado do arquiteto degenerariam para sempre após qualquer tolo decidir que tamanho de madeira ou pedra caberia em determinado lugar, apenas por ler marcas numa vara? E certamente os antigos trovadores terão se horrorizado com a invenção da escrita, código de marcas que punha fim à necessidade da memória. Uma criança de dez anos, tendo aprendido a ler, poderia então recitar a *Ilíada,* embora jamais tivesse assistido a ela, simplesmente seguindo as marcas. Como a mente degeneraria!

E, no entanto, o uso de auxiliares inanimados para julgamento e memória não destruiu o julgamento e a memória. É claro que não é fácil hoje em dia achar alguém com uma memória tão treinada, que possa recitar longos poemas épicos. Mas quem precisa disso? Se nossos talentos naturais não mais demonstram feitos não-necessitados, o ganho não compensa a perda? O Taj Mahal ou a Ponte Golden Gate podiam ter sido construídos a olho? Quantas pessoas conheceriam as peças de Shakespeare ou os romances de Tolstói se tivéssemos que depender de encontrar alguém que os soubesse de cor e estivesse disposto a recitá-los para nós — se, aliás, eles tivessem sido produzidos sem a escrita?

Quando a Revolução Industrial trouxe a potência do vapor e, depois, da eletricidade, com isso aliviando os esforços físicos da humanidade, por acaso os músculos humanos ficaram flácidos? Os feitos nos estádios e campos de jogos negam isso. Até o trabalhador de escritório de cidade pode manter-se em forma correndo, jogando tênis, fazendo exercícios físicos — compensando voluntariamente o que não mais precisa fazer sob o açoite da compulsão escravista.

Com os computadores pode dar-se o mesmo. Deixaríamos para eles os trabalhos rotineiros de cálculos áridos, arquivos, correções, guarda de registros, assim nos permitindo ter nossas mentes livres para tarefas realmente criativas — de modo a podermos construir Taj Mahals em lugar de choupanas de barro.

Isso, naturalmente, no caso de os computadores nunca servirem para nada além do rotineiro e repetitivo. E se os computadores continuarem a se desenvolver sem cessar e nos seguirem ao último baluarte de nossas mentes?

E se também os computadores puderem construir Taj Mahals, compor sinfonias e conceber novas e importantes generalizações científicas? E se eles aprenderem a mimetizar todas as

capacidades mentais do ser humano? E se os computadores puderem ser usados para agir como os cérebros de robôs, que serão os equivalentes artificiais dos humanos, fazendo tudo o que estes fazem, mas construídos com materiais mais fortes e mais duráveis que possam melhor suportar ambientes agrestes? A humanidade não se tornaria obsoleta? Os computadores não poderiam "tomar o poder"? Será que a catástrofe do quarto grau (não só do quinto) que exterminaria os seres humanos seria aquela em que restariam apenas os herdeiros criados pelos próprios seres humanos?

Se analisarmos isso, poderemos fazer uma pergunta um tanto cínica: "Por que não?" A história da evolução da vida é a história da lenta alteração das espécies, ou da substituição corporal de uma espécie por outra, sempre que essa modificação ou substituição resulte num melhor enquadramento dentro de um nicho ambiental particular. Essa longa e tortuosa história finalmente culminou com o *Homo sapiens* há algumas centenas de milhares de anos. Por que esse deveria ser o passo final?

Agora que estamos aqui, por que achar que o espetáculo já acabou?

De fato, se tivéssemos a capacidade de recuar e examinar todo o complexo caminho da evolução de mundo para mundo, poderíamos nos aperceber de que, muito lentamente, por tentativa e erro, a vida se desenvolveu até, finalmente, criar uma espécie inteligente capaz de tomar o processo da evolução em suas próprias mãos. Parecer-nos-ia então que a evolução só começaria realmente a progredir quando uma inteligência artificial, muito superior a qualquer outra coisa já inventada, viesse a existir.

Nesse caso, a substituição da humanidade por computadores avançados seria um fenômeno natural que, objetivamente, mereceria ser tão aplaudido quanto o foi a substituição dos répteis pelos mamíferos, e ao qual contestamos somente por amor-próprio e razões que são essencialmente frívolas e irrelevantes. Aliás, se quiséssemos ser ainda mais cínicos, não poderíamos argumentar que a substituição da humanidade não só é um mal, mas sim um bem?

Supus em capítulos precedentes que a humanidade poderia adotar medidas saudáveis para abolir a guerra, limitar a população e estabelecer uma ordem social humanitária — mas ela adotará? Seria bom acreditar nisso, mas a história da humanidade não é encorajadora nesse sentido. E se os seres humanos não cessarem sua eterna suspeita e violência de uns em relação aos outros? E se eles não conseguirem limitar a população humana? E se não existir um modo de se fazer a sociedade ser dirigida pela decência? Nesse caso, como poderemos evitar a destruição da civilização e talvez até da própria humanidade?

Quem sabe a única salvação repouse na substituição de uma espécie que está muito aquém de atingir seu objetivo por outra parte que, talvez, o consiga. Sob esse prisma, o temor deveria ser não o de a humanidade ser substituída por computadores, mas sim que ela não seja capaz de desenvolver os computadores tão rapidamente para preparar herdeiros que estejam prontos para assumir o posto quando for chegada a hora da inevitável destruição da humanidade.

Mas e se os seres humanos conseguirem resolver os problemas com que se defrontam agora e realmente fundarem uma sociedade baseada na paz, cooperação e um sábio avanço tecnológico no curso do próximo século? E se fizerem isso com o inestimável auxílio de computadores? Apesar do êxito humano, será que os seres humanos não poderiam nesse caso ser suplantados pelas coisas que criaram, e isso não seria uma verdadeira catástrofe?

Mas então não deveríamos verificar o que seja uma inteligência superior?

É simplista demais comparar qualidade como se estivéssemos tirando medidas com uma régua. Estamos acostumados a comparações unidimensionais e compreendemos perfeitamente o que significa dizer que uma certa largura é maior que outra, ou certa massa é maior que outra, ou certa espessura é menor que outra. E aí nos acostumamos a pensar que tudo pode ser comparado assim grosseiramente.

Por exemplo, uma zebra pode alcançar certo ponto distante antes de uma abelha se ambas partirem do mesmo lugar ao mesmo tempo.

Aparentemente, então, justificar-se-ia dizer-se que a zebra é mais veloz que a abelha. Mas uma abelha é bem menor que uma zebra e, diferentemente desta, pode voar. Ambas as diferenças são importantes para a qualificação de “mais veloz”.

Uma abelha pode escapar voando de um fosso que mantém a zebra presa; ela pode esvoaçar pelas barras de uma jaula que aprisiona a zebra.

Agora, quem é a mais veloz? Se A supera B num aspecto, B pode superar A em outro. À medida em que mudam as circunstâncias, um ou outro aspecto pode se revestir de maior importância.

Um ser humano num avião voa mais rápido que um pássaro, mas não pode voar tão lentamente quanto o pássaro, e às vezes a lentidão pode ser necessária para a sobrevivência. Um ser humano num helicóptero pode voar tão lentamente quanto um pássaro, mas não tão silenciosamente quanto este, e às vezes o silêncio pode ser necessário para a sobrevivência. Em resumo, a sobrevivência requer uma série de características, e nenhuma espécie é substituída por outra por causa de uma diferença em somente uma característica, nem que essa característica seja a inteligência.

Vemos isso freqüentemente nas relações humanas. Sob a pressão de uma emergência, não é necessariamente a pessoa com o maior QI que a resolve; pode ser a mais impulsiva, a de maior força, a de maior capacidade de tolerância, a de maior riqueza, a de maior influência. A inteligência é importante, sim, mas não é o mais importante.

Quanto a isso, a inteligência não é uma qualidade simplesmente definida; ela vem em todas as variedades. O professor intensamente treinado e superescolado, que é uma criança em todos os assuntos não pertinentes à sua especialidade, é uma figura estereotipada do folclore moderno. Não nos surpreenderíamos nem um pouco com a imagem de um astuto homem de negócios que fosse inteligente o suficiente para dirigir uma organização valendo 1 bilhão de dólares com mão forte e, entretanto, incapaz de aprender a falar de acordo com as regras gramaticais. Como então compararmos a inteligência humana e a inteligência do computador, e o que queremos dizer com inteligência “superior”?

Neste momento, o computador faz truques mentais impossíveis para o ser humano, mas isso não nos leva a afirmar que o computador seja mais inteligente do que nós. Aliás, não estamos nem dispostos a admitir que ele seja inteligente. Lembremos também que o desenvolvimento da inteligência em seres humanos e em computadores tomou, e está tomando, diferentes caminhos e de que ele era, e é, animado por mecanismos diversos.

O cérebro humano evolui por tentativa e erro, por mutações aleatórias, fazendo uso de sutis

mudanças químicas e com um impulso acionado pela seleção natural e pela necessidade de sobreviver num mundo específico de qualidades e perigos conhecidos. O cérebro do computador está evoluindo por deliberado planejamento, como resultado de cuidadoso pensamento humano, fazendo uso de sutis mudanças elétricas e com um impulso acionado pelo avanço tecnológico e pela necessidade de servir às demandas humanas específicas.

Seria muito estranho se, após tomarem duas estradas tão divergentes, os cérebros e os computadores acabassem por ser tão similares que um deles pudesse ser considerado inequivocamente superior ao outro em termos de inteligência.

É muito mais provável que, mesmo quando ambos forem igualmente inteligentes no todo, as propriedades da inteligência em cada um serão tão diferentes que nenhuma comparação simples poderá ser feita. Haverá atividades para as quais os computadores estarão melhor adaptados e outras para as quais o cérebro humano estará melhor adaptado. Isso seria particularmente verdadeiro se a engenharia genética fosse deliberadamente usada para aperfeiçoar o cérebro humano precisamente nas direções em que o computador é fraco. Seria, inclusive, desejável manter-se o computador e o cérebro humano especializados em campos diversos, pois uma duplicação de capacidade seria um desperdício e tornaria um ou outro desnecessário.

Conseqüentemente, a questão da substituição não precisará nunca ser levantada. Pelo contrário, o que poderíamos ver seria a simbiose ou complementação, cérebro e computador trabalhando juntos, cada um suprindo o que falta ao outro, formando uma aliança de inteligência muito maior do que a de cada um isoladamente, aliança essa que abriria novos horizontes e possibilitaria atingir novas alturas. De fato, a união de cérebros, o humano e o que o homem fez, poderia servir como a porta pela qual o ser humano poderia emergir de sua infância isolada para uma maturidade em combinação.

POSFÁCIO

Revisemos a longa viagem pela atordoante quantidade de possíveis catástrofes que se nos deparam.

Poderíamos separar todas as catástrofes que descrevi em dois grupos: (1) as prováveis ou até inevitáveis, como a transformação do Sol em gigante vermelha, e (2) as extremamente improváveis, como a invasão de uma enorme massa uniforme de antimatéria chocando-se contra a Terra.

Não vale muito a pena preocuparmo-nos com as catástrofes do segundo grupo. Possivelmente não estaremos muito errados em simplesmente admitir que elas nunca acontecerão e em concentrarmo-nos nas do primeiro grupo. Estas podem ser subdivididas em dois: (a) as que assomam no futuro imediato, como a guerra e a inanição, e (b) as que só são capazes de nos confrontar dentro de dezenas de milhares ou até bilhões de anos, como o aquecimento do Sol ou o início de uma era glacial.

Novamente, não vale muito a pena preocuparmo-nos com as catástrofes do segundo subgrupo agora, pois, se não lidarmos com as do primeiro subgrupo, o resto será acadêmico.

Considerando o primeiro subgrupo, as catástrofes que são altamente prováveis e assomam como próximas no tempo, podemos mais uma vez dividi-las em dois subsubgrupos: (i) as que podem ser evitadas, e (ii) as que não podem ser evitadas.

Penso que não há catástrofes no segundo subsubgrupo: *não* há catástrofes que se nos apresentem e que *não* possam ser evitadas; não há nada que nos ameace com a destruição iminente de modo tal que fiquemos de mãos atadas. Se nos comportarmos racional e humanitariamente; se nos concentrarmos objetivamente nos problemas que afligem toda a humanidade, em vez de emocionalmente em assuntos do século XIX, como segurança nacional e orgulho regional; se reconhecermos que não é nosso vizinho o nosso inimigo, mas sim a penúria, a ignorância e a fria indiferença da lei da selva — então poderemos solucionar todos os problemas que se nos defrontam. Podemos deliberadamente escolher não assistir a qualquer catástrofe.

E, se fizermos isso durante o próximo século, poderemos nos espalhar pelo espaço e perder nossa vulnerabilidade. Não seremos mais dependentes de um planeta ou de uma estrela. E aí a humanidade, ou seus descendentes e aliados inteligentes, poderão sobreviver ao fim da Terra, ao fim do Sol e (quem sabe?) até ao fim do universo.

Esse é que é, e deve ser, nosso objetivo.

Tomara que consigamos atingi-lo!

O AUTOR E SUA OBRA

Isaac Asimov talvez seja hoje o mais fecundo escritor americano. Até 1979, havia escrito cento e noventa e nove livros sobre os mais diferentes assuntos, da astronomia à ficção científica, do romance policial ao ensaio de natureza política.

Naquele ano, Asimov viveu um problema inédito em sua carreira: a qual dos seus dois editores, ambos igualmente amigos, conceder a honra de publicar o seu ducentésimo trabalho?

Prolífico como sempre, Asimov resolveu o dilema escrevendo dois livros simultaneamente, e entregando os originais no mesmo dia: Houghton Mifflin recebeu "Opus 200", uma coleção de ensaios, e a Doubleday, o primeiro volume de sua autobiografia, "In memory yet green".

A notícia levou repórteres à casa do autor, para descobrir como ele conseguira produzir tanto nos últimos tempos. Surpresos, descobriram que Asimov não tem uma equipe de pesquisas, datilografa ele mesmo seus originais, cuida da própria correspondência e não tem sequer um agente literário. Trabalha várias horas por dia, inclusive aos domingos, e lê uma razoável quantidade de livros, revistas e jornais para manter-se informado.

Nascido numa aldeia da União Soviética, em 1920, vivendo nos Estados Unidos, para onde a família emigrou, desde os três anos de idade, Isaac Asimov formou-se em química pela Universidade de Colúmbia, Nova York.

Em seu primeiro conto, publicado em 1939, previu com detalhes a conquista da Lua pelo homem. Depois de escrever ficção e trabalhar como bioquímico, ganhou respeito como divulgador de assuntos cientíicos.

Sua segunda paixão — a história — foi confirmada pela publicação de quatro livros: "Os gregos", "A República Romana", "O Império Romano" e "Os egípcios".

Outras obras publicadas: "Eu, robô", "Mistérios", "Poeira de estrelas", "Os nove amanhãs", "Os novos robôs", "O início e o fim", a série de biografias "Grandes cientistas", "Civilizações extraterrenas" e "O livro dos fatos", reunindo três mil pequenas informações em quase cem diferentes campos do conhecimento humano.

{1} *Nas citações bíblicas descritas nesta obra foi adotado o texto da tradução da Vulgata pelo Padre Matos Soares — 7ª edição das Edições Paulinas.*
{2} *"Apocalíptico" vem do grego e significa "revelação". Assim, qualquer coisa que seja apocalíptica revela um futuro normalmente oculto aos olhos dos homens.*
{3} *De fato, é devido à prisão milenar de Satã que o termo "milênio" chegou a ser aplicado a um período de justiça ideal e felicidade futuras, com freqüência usado ironicamente como algo que nunca acontecerá.*
{4} *É claro que não podemos contestar isso, já que é a constante transferência de um lado para outro das propriedades conservadas que produz toda a atividade, animada e inanimada, no universo; que faz a vida possível; que produz o incansável fluxo a que chamamos inteligência e assim por diante.*
{5} *Temos que questionar; antes de mais nada, por que a energia se distribui desigualmente. Ocupar-nos-emos dessa questão mais adiante.*
{6} *A propósito, a separação das águas do mar Vermelho, como vista no filme Os Dez Mandamentos, é precisamente um milagre desse tipo. É claro, isso envolveu truques fotográficos.*
{7} *Na verdade, como veremos, isto não é* realmente *verdadeiro.*
{8} *Uma molécula é um grupo de átomos mais ou menos fortemente ligados entre si, que se movem como uma unidade.*
{9} *Na verdade, como veremos adiante, questiona-se se a grande explosão poderia acontecer até mesmo com a intensidade de nossos atuais campos gravitacionais.*
{10} *Caso caiba aqui uma opinião pessoal, eu diria que um universo aberto não é possível, por razões que explicarei no próximo capítulo. Acho que, se formos pacientes, os astrônomos localizarão a massa perdida, ou quaisquer outras propriedades necessárias, e aceitarão a idéia de um universo fechado.*
{11} *Apesar disso, para não concluir com uma observação tão lúgubre, vale mencionar que o escritor de ficção científica Poul Anderson, em seu livro* Tau Zero, *descreve uma nave espacial com sua tripulação testemunhando e sobrevivendo à formação e explosão de um ovo cósmico — e o faz com detalhes perfeitamente plausíveis.*
{12} *Isso não é bem verdade, segundo o que se descobriu recentemente. Explicarei mais adiante.*
{13} *Curiosamente, pelos idos de 1798, o astrônomo francês Pierre Simon de Laplace (1749-1827) especulou a possibilidade da existência de objetos tão maciços, que não permitiriam o escape de coisa alguma, nem mesmo da luz.*
{14} *Não podemos ter muita certeza disso. É difícil detectar um buraco negro; provavelmente, há muitos que nem sequer notamos. Pode até ser que a massa desses buracos negros desconhecidos seja exatamente a "massa perdida" necessária para jazer nosso universo fechado — caso em que os buracos negros poderiam constituir de 50 a 90 por cento da massa do universo.*
{15} *Como disse no capítulo anterior, é por isso que estou convencido de que o universo é fechado, apesar da atual gama de evidências a favor da possibilidade inversa.*
{16} *Não é fácil determinar a massa de uma estrela. Contudo, se duas estrelas estão*

circulando uma a volta da outra, suas massas podem ser calculadas pela distância entre elas e pelo tempo levado para completarem o circulo, bem como pela localização do centro de gravidade entre elas.

{17} *Atualmente, é uma estrela binaria, duas estrelas que circulam uma à outra, com uma terceira estrela anã situada a uma certa distância das outras duas. Dentre as estrelas em nossa vizinhança, podemos chegar a encontrar seis estrelas, três pares binários, ligadas uma a outra gravitacionalmente. Aqui, usarei a palavra "estrela" para incluir sistemas estelares de duas a seis estrelas gravitacionalmente ligadas.*

{18} *Os buracos negros maciços como as estrelas chegam a ter temperaturas de até um milionésimo de grau (em relação ao zero absoluto) e evaporam tão devagar que essa evaporação só se completaria em um tempo equivalente a trilhões de trilhões de trilhões de vezes o tempo que vai levar até que se forme o próximo ovo cósmico. Enquanto isso, eles teriam captado prodigiosas quantidades de massa. Os buracos negros do tamanho de uma estrela são, portanto, objetos permanentes, e tornam-se constantemente maiores, nunca menores. A teoria de Hawking se aplica apenas a miniburacos negros e, em particular, a pequenos miniburacos negros.*

{19} *Essas estrelas pequenas são pouco brilhantes e não podem ser vistas a grandes distâncias. Conseguiremos somente ter uma idéia real de sua freqüência, portanto, ao estudarmos nossas vizinhanças, onde elas podem ser vistas de perto. À distância, só podemos ver as grandes e brilhantes, as quais nos dão uma falsa idéia da composição do universo.*

{20} *De fato, se a lei da conservação tem fundamento,* qualquer *fonte de suprimento energético do Sol, seja ela gravitacional ou não, deve ser finita.*

{21} *Referência à data da independência dos Estados Unidos da América, ocorrida em 4 de julho de 1776.*

{22} *A astronomia na Europa estava em grande decadência naquele tem po, e os que observavam os céus talvez estivessem por demais convencidos da validade da antiga doutrina grega da imutabilidade dos céus para aceitar o que era evidente à vista.*

{23} *Imaginemos, então, a violência de uma explosão que pode criar uma luz mais brilhante que a de Vênus, assim tão distante.*

{24} *É um tanto frustrante para os astrônomos que, enquanto surgiram duas supernovas visíveis a olho nu num espaço de 32 anos antes da invenção do telescópio, desde então jamais tenha surgido outra. Nenhuma outra! A supernova mais brilhante vista desde 1604 foi localizada em 1885, e situa-se na galáxia de Andrômeda. Ela quase conseguiu tornar-se brilhante o suficiente para ser vista a olho nu, apesar da enorme distância daquela galáxia — mas não totalmente.*

{25} *A supernova seria invisível nos Estados Unidos e na Europa, pois a Alfa de Centauro é uma estrela do extremo sul, nao-visível nas latitudes do norte, mas os ventos quentes sulinos fariam com que os habitantes do hemisfério norte percebessem que* alguma coisa *tinha acontecido.*

{26} *Há uma combinação de circunstâncias, que analisaremos mais tarde, que pode jazer a*

situação piorar para nós.

[27] *O calor das chamas pode bem compensar o resfriamento das manchas, de modo que um Sol com manchas pode ser mais quente que um Sol sem manchas.*

[28] *Eles se assemelham aos neutrinos, mas são opostos a estes, em certas propriedades. Na verdade, o que se desprende com um elétron, quando certos núcleos se rompem, é um antineutrino, e não um neutrino.*

[29] *Essa possibilidade foi originalmente apontada, no fim da década de 40, pelo físico ítalo-canadense Bruno M. Pontecorvo (1913-).*

[30] *Isto se aplica aos invasores relativamente grandes. Estou deliberadamente omitindo a possibilidade de colisão com a Terra de partículas de poeira do espaço interestelar ou de átomos ou partículas subatômicas individuais. Considerá-los-ei mais adiante.*

[31] *O psiquiatra russo Immanuel Velikovsky (1895-), no livro* Words collision *("Mundos em colisão"), publicado em 1952, postulou uma situação na qual o planeta Vênus tinha sido lançado de Júpiter, por volta de 1500 a.C. e, desde então tivera vários contatos com a Terra, antes de estabelecer sua órbita atual. Velikovsky descreve numerosos eventos desastrosos, como conseqüência desses contatos. Tais eventos, contudo, parecem não ter deixado marcas na Terra, se se desconsideram os vagos mitos e lendas folclóricas seletivamente citados por Velikovsky. Suas idéias podem seguramente ser descartadas como fantasias nascidas de uma imaginação fértil, que agrada a pessoas cujo conhecimento de astronomia não ê maior que o de Velikovsky.*

[32] *Fotografias recentes de Io, o mais interno dos grandes satélites de Júpiter, mostram que ele não tem crateras. A razão para isso, especificamente, é que ele é ativamente vulcânico e as crateras são obscurecidas por lava e cinzas.*

[33] *Pelo fato de a aparição dos cometas não seguir uma regra definida, diversamente dos movimentos constantes e previsíveis dos planetas, eles pareciam à maioria das pessoas de eras pré-científicas ser presságios de desastre, criados especialmente e enviados como aviso à humanidade por deuses zangados. Aos poucos, a investigação científica aplacou esses temores supersticiosos. Na verdade, mesmo hoje esses temores não se esgotaram por completo.*

[34] *Os cometas são pequenos e, conseqüentemente, têm muito menos massa e momento angular que os planetas. As minúsculas transferências de momento angular por meio da interação gravitacional, que produzem pequeníssimos efeitos orbitais no caso de planetas e satélites, são suficientes para alterar órbitas de cometas — drasticamente, em alguns casos.*

[35] *Na realidade, eles são ligas de aço, porque são misturados com níquel e cobalto*

[36] *"Meteoro" vem da palavra grega para "alta atmosfera", porque, para os gregos antigos, os meteoros, assim como os cometas, pareciam ser fenômenos puramente atmosféricos. É por isso que "meteorologia" é o estudo do tempo, não de meteoros. O estudo de meteoros, no sentido atual, é chamado de "meteoroscopia".*

[37] *É possível, claro, que a lenda da destruição de Sodoma e Gomorra, tal como é descrita na Bíblia, seja a lembrança obscura e distorcida da colisão de um meteorito.*

[38] *Aqueles que negam a evolução, freqüentemente afirmam ser ela "apenas uma teoria",*

mas a evidência é forte demais. Seria o mesmo que afirmar que a lei da .gravitação de Newton é "apenas uma teoria".
{39} *A palavra "geyser" é uma contribuição islandesa à língua inglesa.*
{40} *Essa estimativa pode ser exagerada. É possível que nem todo o quilômetro superior tenha sido arrasado, porém é certo que grande parte dele desmoronou para dentro do buraco central formado pela lava expelida.*
{41} *Embora já sabendo que a civilização minóica se extinguira naquela época, os historiadores só vieram a saber o porquê após e com as escavações de Thira.*
{42} *As lendas de Velikovsky relativas aos desastres desse período — em que ele inclui o Êxodo, se têm qualquer embasamento concreto, poderiam muito mais facilmente ser atribuídas ao caos e à devastação provocados pela explosão de Thira que a uma impossível invasão da Terra pelo planeta Vênus.*
{43} *Isso não é verdadeiro para a porção da vida que inclui a atividade humana. Voltarei a esse ponto mais adiante.*
{44} *Um dispositivo parecido poderia servir para tornar a Terra habitável por algumas dezenas de milhares de anos, talvez, depois que o gradual aquecimento do Sol a tornasse inabitável — se as pessoas achassem que valeria a pena.*
{45} *Essa situação poderia ser ilustrada da seguinte forma: espera-se que, por acaso, uma linha passe pelo buraco de uma agulha, depois de ambas terem sido jogadas ao ar separadamente; ou: enfia-se a linha no buraco da agulha deliberadamente, segurando-se cada um desses materiais com cada uma das mios. O primeiro exemplo se assemelha a uma reação celular sem enzimas; e o segundo, com a participação de enzimas.*
{46} O *termo "pesticida" tornou-se mais comum nos últimos anos, porque outros organismos indesejáveis que não os insetos vêm sendo atacados com produtos químicos.*
{47} *Como logo se vera, essas doenças são associadas a organismos vivos ainda menores, mais fecundos e mais perigosos que os insetos.*
{48} *Talvez o detalhe tnais perturbador da peste negra seja a horrível visão da natureza humana depredada. A Inglaterra e a França, na época, estavam nas primeiras décadas da Guerra dos Cem Anos. Embora a peste negra afligisse ambas as nações e tivesse quase destruído as duas, a guerra prosseguiu. Não havia lugar para pensamentos de paz na maior crise enfrentada pela espécie humana.*
{49} *Recentemente, Francis Crick apontou a possibilidade de conceber a vida da Terra como tendo sido deliberadamente semeada por inteligências extraterrenas — um tipo de "panspermia dirigida".*
{50} *Existe um caso especial do rápido acesso potencial de inteligência em termos não-bumanos que não envolve a evolução no sentido habituai do termo. Retomaremos isso mais adiante*
{51} *Historiadores civilizados às vezes se embaraçam e tentam explicar isso falando de "hordas" bárbaras. A palavra "horda" vem de uma palavra turca que significa "exército" e se refere a qualquer bando tribal guerreiro.*
{52} *Em alguns aspectos, eles eram o equivalente aos* cowboys *do oeste americano legendário; os* cowboys, *porém, tiveram sua época durante somente 25 anos, enquanto os*

nômades da Ásia central vinham patrulhando seus rebanhos a cavalo por praticamente toda a história até então registrada.

{53} *A área está em posição vantajosa desde as últimas poucas décadas por causa da presença de petróleo em seu solo — mas esse é um recurso temporário.*

{54} *Cinco séculos antes, o Império Bizantino havia se utilizado de uma arma química chamada logo grego, mistura de substâncias desconhecese a fórmula exata) que podiam queimar na água. Ela foi usada para repelir grupos de atacantes russos e árabes, e diversas vezes salvou Constantinopla da captura. Ela não era, porém, um explosivo, mas sim um incendiário.*

{55} *E também de outras importantes invenções tecnológicas, notadamente o papel e a bússola.*

{56} *Obviamente, uso aqui a palavra "civilizado" apenas no sentido de possuir cidades e um grau razoavelmente avançado de tecnologia. Uma nação ou um povo pode ser civilizado nesse sentido e bárbaro em sua cruel falta de humanidade. Não precisamos reportar-nos aos turcos para exemplificar: o melhor caso na história é o da Alemanha entre 1933 e 1945.*

{57} *Porém, nem mesmo sua genialidade poderia tê-Io jeito vencer; precisou do dinheiro britânico e da sorte (que ele teve) de sua inimiga inveterada, a Imperatriz Isabel Petrovna da Rússia, ter morrido a 5 de janeiro de 1762, após o quê, a Rússia fez as pazes com ele.*

{58} *Um forte componente da motivação humana para a exploração está na busca de recursos não disponíveis no local. As grandes viagens dos séculos XV e XVI não tinham a intenção de ampliar o conhecimento geográfico nem estender o domínio europeu. Determinava-as, sim, a busca de produtos que faltavam, mas que os europeus queriam, como o ouro, a seda e as especiarias.*

{59} *Nenhum se apresenta em sua forma elementar, ê claro, mas na forma de compostos dissolvidos.*

{60} *Há também incessantes campanhas contra o fumo, pois a fumaça do cigarro contém agentes cancerígenos que afetam tanto os fumantes quanto os não-fumantes. Os fumantes, infelizmente, inveterados em seu vicio, geralmente ignoram ou negam tal fato, enquanto a indústria de cigarros prefere* o *câncer à perda dos lucros.*

{61} *Mesmo a produção de dióxido de carbono tem seus perigos, como* veremos.

{62} *Aqui só foi discutida a poluição material. Há outras formas de poluição que serão levantadas posteriormente.*

{63} *As gorduras, os óleos e as ceras, obtidos a partir de plantas e animais, eram usados em velas e luminárias, mas tratava-se de contribuições minoritárias.*

{64} *Aliás, o efeito de estufa é contrariado pelo fato de que a atividade industrial também empoeira o ar. Isso faz com que a atmosfera reflita uma maior quantidade de luz solar do que faria normalmente, o que resfria a Terra. Na verdade, os invernos dos anos 70 têm sido mais rigorosos. No fim, porém, o efeito de aquecimento do dióxido de carbono acabará vencendo a parada — principalmente se tomarmos as medidas necessárias para limpar a atmosfera quando a poluição atingir níveis perigosos*

{65} *Experimentos com ratos demonstraram que uma extrema superlotação induz a uma*

sociedade tão psicótica que os rebentos não são produzidos ou, se o são, não são cuidados. Isso, entretanto, não ê controle voluntário; e, se os seres humanos forem esperar a superlotação ficar extremada a ponto de enlouquecer a sociedade, estarão esperando por uma catástrofe

{66} *É provável combinar-se as duas, simultaneamente aumentando o coeficiente de mortalidade e diminuindo o de natalidade.*

{67} *Muitas pessoas hoje sonham com um passado onde as pessoas "viviam em contato direto com a natureza" e eram mais saudáveis e bem-dispostas que os habitantes das poluídas e densamente povoadas cidades de hoje. Esses sonhadores teriam uma desagradável surpresa se vissem o passado real: enfermos, famintos e sujos, mesmo aqueles dos níveis mais altos.*

{68} *Um gene defeituoso pode surgir por mutação numa criança de pais normais, de maneira que a cruel eliminação de indivíduos não necessariamente eliminará o gene defeituoso, de qualquer modo.*